

Opinnäytetyö (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

2018

Aleksi Vainio

TYÖHJE 3D-MALLINTAMISEEN 2D-KUVIEN POHJALTA

– kassapöydän mallintamisen ongelmat ja
ratkaisut

Aleksi Vainio

TYÖOHJE 3D-MALLINTAMISEEN 2D-KUVIEN POHJALTA

- kassapöydän mallintamisen ongelmat ja ratkaisut

Tavoitteena oli luoda kassapöydän jo olemassa olevista 2D-kuvista 3D-malli. Lisäksi tavoitteena oli tehdä työohje, jonka avulla edellä mainittu siirtoprosessi tehdään. Kassapöytä koostuu pääosin levyosista, joten työohjeen sisältö liittyy kiinteästi niiden mallintamiseen. Työssä käsitellään myös 3D-mallinnusta suunnittelun apuvälineenä sekä sen etuja verrattuna 2D-suunnitteluun. Tämä työ on tehty Forssan Levy Oy:n toimeksiantona.

Siirtoprosessiin laadullisesti paras tapa on tehdä 3D-mallit käsin kokonaan uudelleen. Tämä tapa vie paljon aikaa ja resursseja, ja usein 3D-malleilta vaadittu tarkkuus ei ole niin suuri kuin kyseisellä tavalla pystytään tekemään. Resurssitehokkain tapa on kopioida 2D-piirustuksesta saatava geometria suoraan 3D-ohjelmistoon ja suorittaa sen jälkeen tarvittavat toimenpiteet, kuten esimerkiksi pinnan ja taivutusten luonti.

Lopputuloksena saatiin yritykselle toimiva 3D-malli kassapöydästä sekä työohje, jonka avulla siirtoprosessi on helppo suorittaa uudelleen. Työohjeessa on selvät ohjeet vaiheittain siitä, miten toimenpide kannattaa tehdä. Siinä on huomioitu kaikki mallinnusprosessissa esiintyvät ongelmat ja esitetty niihin ratkaisut.

ASIASANAT:

2D, 3D, Inventor, levyosa, mallinnus, työohje

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical and Production Engineering

2018 | 36 pages, 13 pages in appendices

Aleksi Vainio

WORK INSTRUCTION TO 3D MODELING BASED ON EXISTING 2D-DATA

- problems and solutions of 3D modeling a cashier desk

The objective of this thesis was to create a 3D model of a cashier desk based on the existing 2D pictures. In addition, another objective was to write work instructions about how to do the above-mentioned process. A cashier desk contains mainly sheet metal parts, so the content of the work instructions is related to these. The thesis also discusses 3D modeling in designing and the benefits of 3D modeling compared to 2D planning. This thesis was commissioned by Forssan Levy Oy.

There are many ways to do the above-mentioned transferring process but qualitatively the best method is to do 3D models from start to end with traditional modeling techniques. This method takes a lot of time and resources and usually the required accuracy of 3D models is not as high as with this method. The most effective method based on resources is to copy the geometry of the 2D file and paste it to the 3D program and after that make all necessary operations, for example creating face and bends.

As a final result of the thesis, the company got a functional 3D model of the cashier desk and work instructions, which is helpful when making the transferring process again. The work instructions contain clear step by step actions about how the process is recommended to be done. All the problems of the transferring process are noticed and solved in the instructions.

KEYWORDS:

2D, 3D, Inventor, sheet metal, modeling, work instructions

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	6
2 LÄHTÖKOHDAT	7
2.1 Yritys	7
2.2 Työn tavoitteet	8
2.3 Työskentelyohjelmistot	8
3 3D-MALLINTAMINEN	9
3.1 3D-mallintamisen historia	9
3.2 Menetelmät 3D-mallinnuksessa	10
4 TYÖVAIHEET 3D-MALLINNUKSESSA	12
4.1 Mallinnuksen esivalmistelut	12
4.2 Sketsit	12
4.3 Piirteiden luominen	14
4.4 Ohutlevymallinnus	16
4.5 Kokoonpanot	19
4.6 Piirustukset	20
5 2D-MALLINTAMISESTA 3D-MALLINTAMISEEN	21
5.1 3D-mallintamisen eduista	21
5.2 Haasteet siirtyessä 2D-ympäristöstä 3D-ympäristöön	22
5.3 2D-kuvien siirtäminen 3D-ympäristöön	22
6 TYÖOHJEEN LAATIMINEN	24
6.1 Hyvän työohjeen vaatimuksia	24
6.2 Yleiset virheet työohjeissa	24
7 KASSAPÖYDÄN MALLINTAMINEN	26
7.1 Osien mallintaminen	26
7.2 Kokoonpanojen luominen	28
7.3 Piirustusten laadinta	28
7.4 Kohdatut ongelmat ja ratkaisut	29
8 TYÖOHJEEN LAATIMINEN MALLINNUSPROJEKTIN AVULLA	31

9 YHTEENVETO	32
LÄHTEET	34

LIITTEET

Liite 1. Työohje 3D-mallintamiseen 2D-kuvien avulla.

KUVAT

Kuva 1. Forssan Levy Oy.	7
Kuva 2. Perustasot.	13
Kuva 3. Sketsatut piirteet.	15
Kuva 4. Flat pattern levityskuva.	18
Kuva 5. Mallintamani levyosa.	27
Kuva 6. Kassapöydän pääkokoonpano.	28
Kuva 7. Taivutushelpotus.	30

KUVIOT

Kuvio 1. 2D-mallinnuksesta 3D-mallinnukseen siirtymisen edut.	21
Kuvio 2. Haasteet mallinnusympäristön muutoksessa.	22

1 JOHDANTO

3D-mallintaminen on kehittynyt huomattavasti lähivuosisikymmeninä, ja se on syrjäyttämässä 2D-työkalujen käytön. 2D-kuvia on kuitenkin käytössä paljon, ja jatkuvasti on tarve saada muutettua data 3D-muotoon. Kirjallisuutta 2D-ympäristöstä 3D-ympäristöön siirtymiseen on tarjolla todella vähän siihen nähden, kuinka ajankohtainen aihe on, ja suurin osa materiaalista käsittelee jonkin ohjelmiston käyttöohjeita.

Tämä opinnäytetyö on tehty Forssan Levy Oy:n toimeksiantona. Yrityksellä on paljon 2D-työkaluilla tuotettuja piirustuksia ja välillä niitä tarvitaan 3D-malleina. Tässä työssä on tarkoituksena 3D-mallintaa kassapöytä jo olemassa olevista 2D-kuvista, sekä luoda prosessin pohjalta työohje (liite 1). Työohjeen tulee olla havainnollistava ja selkeä, ja sen avulla pitää pystyä suorittamaan muunnosprosessi 2D-kuvista 3D-malleiksi. Kassapöydän mallintaminen pyritään tekemään mahdollisimman tehokkaasti, mutta vaadittavan tarkkuuden sallimissa rajoissa. Mallinnusprojektissa käytetään kahta ohjelmistoa, jotka ovat myös yrityksellä käytössä olevat Autodesk Inventor Professional 2015 sekä Autodesk AutoCAD Mechanical 2015.

Kassapöytä koostuu pääosin levyosista, joten tässä työssä käsitellään suurimmaksi osaksi levyosien mallinnusta ja levyosien siirtoa 2D-ympäristöstä 3D-ympäristöön. Lisäksi työssä käsitellään 3D-mallinnusta yleisesti suunnittelun apuvälineenä sekä pohditaan sen etuja verrattuna 2D-suunnitteluun.

2 LÄHTÖKOHDAT

Opinnäytetyön toimeksiantajana oli forssalainen metalliteollisuuteen keskittyvä Forssan Levy Oy. Yrityksellä on olemassa tuotteista 2D-kuvia, jotka pitäisi päivittää 3D-malleiksi. Työn toimeksiannoksi sovittiin korkeussäädettävän kassapöydän 3D-mallintaminen olemassa olevien 2D-kuvien perusteella. Lisäksi yrityksellä oli tarve saada työohje siitä, mitä ongelmia on kuvien päivittämisessä 2D-ympäristöstä 3D-ympäristöön ja miten päivittäminen kannattaa tehdä.

2.1 Yritys

Forssan Levy Oy (kuva 1) on vuonna 1970 perustettu perheyritys. Yritys työllistää noin 40 henkilöä monissa eri tehtävissä. Yritys tarjoaa asiakkailleen suunnittelupalveluja, osavalmistusta, sopimusvalmistusta, omia tuotteita sekä huoltopalveluja. Suurimmat osa-alueet näistä ovat omat tuotteet sekä sopimusvalmistus, jotka ovat molemmat 40 % liikevaihdosta. Omia tuotteita ovat henkilönostolavat, kassapöydät ja myymäläkalusteet, henkilösulut ja kulunvalvonta, sekä laivan ikkunanpesulaitteet. (Forssan Levy Oy 2018.)



Kuva 1. Forssan Levy Oy (Forssan Levy Oy 2018).

2.2 Työn tavoitteet

Työn tavoitteena oli AutoCAD-ohjelmistolla tehtyjen 2D-kuvien pohjalta 3D-mallintaa Inventor-ohjelmalla kassapöytään kuuluvat osat, luoda niistä kokoonpanot, sekä osa- ja kokoonpanopiirustukset. Työhön kuului myös työohjeen luominen mallinnusprojektin pohjalta. Työohjeen tuli kertoa pääpiirteittäin vaiheet, miten 3D-malli luodaan 2D-kuvan perusteella, sekä kertoa toimenpiteessä mahdollisesti esiintyvistä ongelmista ja ratkaisuista.

2.3 Työskentelyohjelmistot

Autodesk on yhdysvaltalainen suunnitteluohjelmistoja ja palveluita tarjoava yritys, jonka perusti John Walker ja 15 muuta saman henkistä ohjelmoijaa vuonna 1982 (Bethany 2018). Vuonna 1994 Autodesk Inc. perustettiin Autodeskin pohjalta. Se tarjoaa ratkaisuja asiakkailleen arkkitehtuurissa, tekniikassa ja rakennustyössä, tuotteen suunnittelussa ja valmistamisessa sekä digitaalisessa mediassa ja viihdeteollisuudessa. Yrityksen tunnettuja ohjelmistoja eri aloilta ovat esimerkiksi: AutoCAD, 3ds Max, Maya, Revit, Inventor ja Fusion 360. Yhtiön pääkonttori sijaitsee San Rafaelissa Kaliforniassa. (Reuters 2018.)

Työn suorituksessa oli käytössä kaksi ohjelmistoa Autodeskilta: Inventor Professional 2015 ja AutoCAD Mechanical 2015. Suurin osa työskentelystä tapahtui Inventorilla, koska kaikki mallintaminen tehtiin kyseisellä ohjelmalla. Inventor on vuonna 1999 kehitetty auttamaan muun muassa mekaniikkasuunnittelua kolmiulotteisessa maailmassa (English 2017.). AutoCADilla kopioitiin tarvittava geometria, sekä tarkasteltiin eri mittoja.

3 3D-MALLINTAMINEN

Mekaniikkasuunnittelussa käytettävien työskentelytapojen kehitys on ollut nopeaa ja nykyään suurin osa mekaniikkasuunnittelusta suoritetaan 3D-ohjelmistojen avulla. 3D-suunnittelun pää tavoitteena on usein tuottaa 2D-piirustus, mutta jatkuvan kehityksen ansiosta piirustusten merkitys luultavasti pienenee ja suunnittelun lopulliseksi tavoitteeksi tulee 3D-mallit itsessään. Nykytilanteessa 3D-malli ja 2D-piirustus kulkevat käsi kädessä. Ensin luodaan 3D-malli, josta laaditaan piirustus. Myös muutostapauksissa muutokset tehdään suoraan 3D-malliin, josta tehdyt päivitykset saadaan suoraan siirrettyä 2D-piirustuksiin. (Pere 2012, 2–18.)

3D-mallinnus tarkoittaa suunnittelua eri tuotteille, mikä tapahtuu kolmiulotteisessa ympäristössä. Tämä tarkoittaa, että tuotteen kaikki osa-alueet ovat oikean näköisiä ja niillä on todellisuudessa valmistettavan tuotteen mekaaniset ja fysikaaliset ominaispiirteet. Suunnittelu tapahtuu x-, y- ja z-koordinaattiakselien muodostamassa kolmiulotteisessa avaruudessa. (Tuhola & Viitanen 2008, 17.)

3.1 3D-mallintamisen historia

1970-luvulla tietokoneavusteinen suunnittelu oli pääosin tulevaisuutta ja mekaniikkasuunnittelu suoritettiin käsin piirtämällä. Samaan aikaan alkeellinen minitietokone toimi pohjana sen aikaiselle CAD-järjestelmälle, ja sen hinta tuolloin oli 125 000 dollaria. Ensimmäisten henkilökohtaisten PC-tietokoneiden saapuessa markkinoille 1980-luvun alussa tietokoneavusteinen mallinnus kasvoi suunnittelijoiden käytössä. Tässä vaiheessa suunnittelu tapahtui kaksiulotteisessa ympäristössä ja sitä kutsuttiin enemmän tietokoneavusteiseksi piirtämiseksi, koska toiminta oli samanlaista kuin piirustuslaudalla. Samaan aikaan kolmiulotteista suunnittelua kokeiltiin ensimmäisiä kertoja tulosten ollessa huonoja. (Hietikko 2007, 14.)

Vuonna 1987 julkaistu suunnitteluohjelma antoi alkusysäyksen 3D-ohjelmistojen läpimurrolle. Sen avulla pystyttiin luomaan kappaleita ja kokoonpanoja piirteisiin perustuvilla parametrisilla työkaluilla. Tosin PC-tietokoneet olivat melko tehottomia vielä siihen aikaan pyörittämään ohjelmaa, mutta vuosikymmenen viimeisillä vuosilla tekniikka ja ohjelmistot kehittyivät huimasti. (3D Innovations, 2018.)

3D-suunnitteluohjelmistojen lopullisesta läpimurrosta kertoo se, että isot yritykset, kuten esimerkiksi Boeing vuonna 1990 pystyi menestyksekkäästi suunnittelemaan tuotteita kokonaan 3D-ohjelmiston avulla ilman paperisia dokumentteja. Suuri kehitysaskel tapahtui vuonna 1994, kun Microsoft julkaisi sen ensimmäisen 32-bittisen käyttöjärjestelmän PC-tietokoneille. Tämän jälkeen 3D-mallinnusohjelmamarkkinat lähtivät totaaliseen nousuun ja samaan aikaan PDM-järjestelmät (Product Data Management, tuotetiedonhallinta) tekivät läpimurtoaan. Prosessorien ja näytönohjainten kehittyessä 3D-ohjelmistot tulivat jatkuvasti tehokkaammiksi. 1990-luvun lopulla seuraavaan kehitysaskeleeseen vaikutti internetin yleistyminen. Ohjelmistot kehittivät siten, että internetin välityksellä pystyttiin katselemaan ja kommentoimaan 3D-dokumentteja. Lisäksi 3D-ohjelmistojen yhteyteen alkoi kehittyä PLM-järjestelmät (Product Lifecycle Management, elinkaarenhallinta). (CADAZZ 2004.)

2000-luvulla CAD-ohjelmistojen kehitykseen kuului lähinnä yksinkertaistaminen, mallintamisen kehittäminen intuitiivisemmaksi sekä CAD-ohjelmiston integroiminen PLM-ympäristöön. Isoin yksittäinen muutos tapahtui 2007-luvulla, kun markkinoille tuli ensimmäinen 3D-ohjelmisto, joka perustui suoraan mallintamiseen niin, että malleissa ei käytetty mallinnushistoriaa. Tästä ajankohdasta valmistajat ovat lisänneet kyseisen toiminnon ohjelmistoihinsa, sekä uusia ohjelmistoja on syntynyt, joissa on yhdistetty sekä perinteistä parametrista historiamallinnusta sekä uutta suoraa mallinnusta. (Tornincasa & Di Monaco 2010, 3.)

3.2 Menetelmät 3D-mallinnuksessa

Menetelmät 3D-mallinnuksessa on jaettavissa kolmeen eri päätyyppiin: kappalemallinnukseen, levymallinnukseen sekä pintamallinnukseen. Konetekniikan näkökulmasta katsottuna kappale- ja levymallinnus ovat paljon suuremmassa käytössä kuin pintamallinnus, koska pintamallinnuksessa pyritään luomaan yksinkertaisia ja helposti valmistettavissa olevia malleja, mikä ei toimi koneensuunnittelussa yhtä tehokkaasti kuin muut menetelmät. (Tuhola & Viitanen 2008, 26.)

Kappalemallinnuksessa malli luodaan pitäen mielessä valmistusympäristössä käytettävät menetelmät. Aluksi luodaan tai ladataan kappale, josta eri menetelmillä, kuten purrottamalla tai leikkaamalla, lisätään tai poistetaan materiaalia. Usein konetekniikassa

kappalemallinnuksella luotujen kappaleiden työstömenetelmiä ovat yleisimmät konepajoissa käytetyt työstömenetelmät, kuten jyrsiminen, sorvaaminen ja poraaminen. (Tuhola & Viitanen 2008, 26; Davies 2018.)

Kappalemallinnuksessa malli on usein luotu parametrisesti, mitä voidaan pitää isona hyötynä. Tämä tarkoittaa, että kappaleeseen pystytään tekemään muutoksia koska vain ja koko kappale mukautuu tehtyihin muutoksiin heti ja nopeasti. Lisäksi kappalemallinnus mahdollistaa kokoonpanojen luonnin yksittäisten kappaleiden avulla erittäin hyvin. (Davies, 2018.)

Nimensä mukaisesti levymallinnuksessa työstettävä malli muodostuu levystä. Kappaletta mallinnetaan samantyyllisillä työkaluilla kuin oikeassa ympäristössäkin, kuten esimerkiksi särmäys ja kanttaus. Riippuen levyn paksuudesta puhutaan joko ohutlevymallinnuksesta tai levymallinnuksesta. Ohutlevyksi määritellään levy, jonka paksuus on alle 6 mm. (Tuhola & Viitanen 2008, 27–28.)

Mallinnusohjelmissa levyn paksuudella ei ole piirtämisen kannalta väliä ja kaiken paksuisia levyjä käsitellään samoilla työkaluilla. Suunnittelussa tuleekin ottaa huomioon neutraaliakselin paikka levyssä. Neutraaliakseli on kohta, jossa levyssä ei tapahdu muutosta. Taivutusta tehdessä levyn sisäpinta menee kasaan ja ulkopinta venyy ja neutraaliakseli on levyn materiaalista ja valmistusmenetelmistä riippuen melko keskellä levyä. Neutraaliakseli määritetään usein k-kertoimen arvolla ja työskentelyä helpottaa, jos arvot on määritetty ohjelmaan valmiiksi. k-kertoimen voi määrittää myös laskemalla. (Hietikko 2007, 211; Tuhola & Viitanen 2008, 27–28.)

Pintamallinnus eroaa kappale- ja levymallinnuksesta hyvin paljon ja se onkin enimmäkseen muotoilijoiden työkalu. Pintamallinnuksessa eri pintojen avulla muotoillaan haluttu malli. Muotojen ollessa pääosassa, kyseistä työkalua käytetään pitkälti tuotteisiin, jotka tuotetaan valamalla, pursotustyökaluja käyttäen sekä muovimuottien avulla. (Tuhola & Viitanen 2008, 29.)

Pintamallinnuksen avulla on helppo tehdä vapaamuotoisia kappaleita. Tosin kappaleiden tarkkuus ei ole ollenkaan niin hyvä kuin kappale- ja levymallinnuksessa. Vaikka pintamallinnuksessa luodaan kappaleelle pintaa ilman kiinteää sisältöä, on mahdollista tehdä kiinteä kappale, jos pinnat muodostavat eheän ja suljetun kokonaisuuden. Näin luodut mallit sopivat hyvin esimerkiksi 3D-tulostamiseen. Tosin usein mallin parametrisuus puuttuu ja muutosten tekeminen jälkeenpäin on hankalaa. (Davies 2018.)

4 TYÖVAIHEET 3D-MALLINNUKSESSA

3D-mallinnuksessa työvaiheet ja toimintaperiaatteet ovat pitkälti samanlaisia eri ohjelmistoilla. Samat työkalut löytyvät monista ohjelmistoista, usein hieman eri nimillä. Tässä osiossa työkalujen nimet ja toiminnot liittyvät Autodesk Inventoriin, mutta toimintaperiaatteet pätevät myös muihin ohjelmistoihin.

Yleensä tuotteen mallinnuksessa on kolme päävaihetta: osien mallintaminen, kokoonpanojen luominen osien avulla ja piirustusten tekeminen (Hietikko 2007, 26). Päämääränä mallinnuksessa on aina 2D-piirustukset, joiden avulla lopullinen tuote pystytään valmistamaan. Ennen 2D-piirustusten tekoa on käytävä läpi suunnitteluprosessi, joka koostuu esitiedoista, osamalleista ja kokoonpanoista. Tarvitaan hyvät esitiedot, joiden avulla saadaan mallinnettua osamallit ja osamalleista kokoonpanot. (Tuhola & Viitanen 2008, 54–55.)

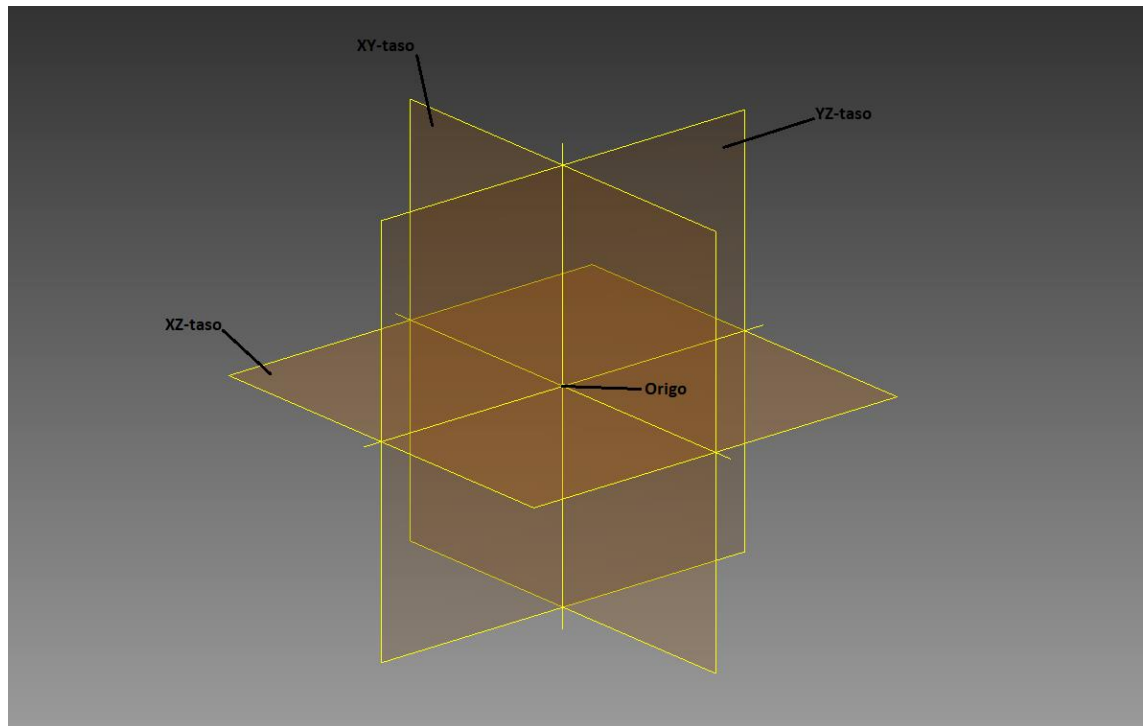
4.1 Mallinnuksen esivalmistelut

Mallinnusprojektin alussa järjestelmä on asetettava vastaamaan työskentelyssä vaadittavia tarpeita. Yrityksillä on usein vaadittavat asiat määritettyinä ja yksityisessä käytössä standardiasetukset vastaavat useimmiten käytössä vaadittavia tarpeita. Yritysten erilaiset tarpeet ovat esimerkiksi komponenttikirjastot, varaosaluettelot, piirustuslomakkeet ja standardit. On hyvä osata muokata mallinnusohjelman asetuksia, jottei työskentely käy tehottomaksi ja hankalaksi. Lisäksi on tiedettävä valmistettavien mallien raaka-aineet, sekä tekniset parametrit. Koneita suunniteltaessa on myös tiedettävä esimerkiksi: käyttöolosuhteet, kuormitus, mitoitusvaatimukset ja miten konetta käytetään. (Tuhola & Viitanen 2008, 45–46, 51, 55.)

4.2 Sketsit

Sketsiä aloittaessa on tärkeää määritellä taso, johon sketsi luodaan. On mahdollista, että taso määräytyy oletuksena alussa, mutta on varmempaa, jos käyttäjä määrittelee itse tason, jolle sketsi tehdään. Yksittäisiä kappaleita tehdessä tason valinta ei ole aivan niin tärkeää kuin silloin, jos tehdään useampia kappaleita. (Tuhola & Viitanen 2008, 57–58.) Taso, jolle sketsi tehdään, valitaan sen mukaan, missä asennossa valmis kappale tulee

olemaan. On olemassa kolme perustasoa, joista valitaan aloitustaso. Tasot määräytyvät koordinaattiakselien mukaan, ja ne ovat: XY-taso, joka on oletusnäkymässä edestä kuvattuna, XZ-taso, joka on taso päältä, ja YZ-taso, joka on kuvattu sivulta päin. Kaikki kolme tasoa kohtaavat origossa (kuva 2), ja sketsi kannattaa sitoa origoon, jotta esimerkiksi kokoonpanoja luodessa perustasojen käyttö on helpompaa. (Hietikko 2007, 75, 77; Tuhola & Viitanen 2008, 57–58, 62–63.)



Kuva 2. Perustasot.

Sketsityypit voidaan jakaa neljään eri ryhmään: aloitussketsit, muokkaussketsit, apusketsit ja 3D-sketsit. Mallin luonti aloitetaan aloitussketsillä, jonka luontiin vaikuttavat edellisessä kappaleessa kerrotut seikat. Aloitussketsiä tehdessä täytyy miettiä tarkasti, miten voidaan helpoiten toteuttaa se, mitä halutaan tehdä. Suunnittelijan täytyy myös pitää mielessä se, että mallinnuksessa osat ovat tarkkoja ja tuotteen valmistuksessa ei ikinä päästä samanlaiseen tarkkuuteen. Siksi onkin tärkeää tietää, millaista tarkkuutta tuotteelta vaaditaan, sillä liian tarkka tuote (eli määritellyt toleranssit) nostaa valmistuskustannuksia ja liian epätarkka taas tuottaa kelpaamattomia tuotteita. Muokkaussketsien avulla jo mallinnettuun kappaleeseen tehdään muokkauksia. Esimerkiksi levyn erimuotoiset reiät voidaan leikata luodun muokkaussketsin mukaan. Apusketsien avulla kappaleeseen lisätään informaatiota, jonka avulla voidaan tehdä toimintoja. Yleensä apusketsit eivät näy tuotteessa, vaan niiden avulla määritellään esimerkiksi reikien paikkoja. 3D-

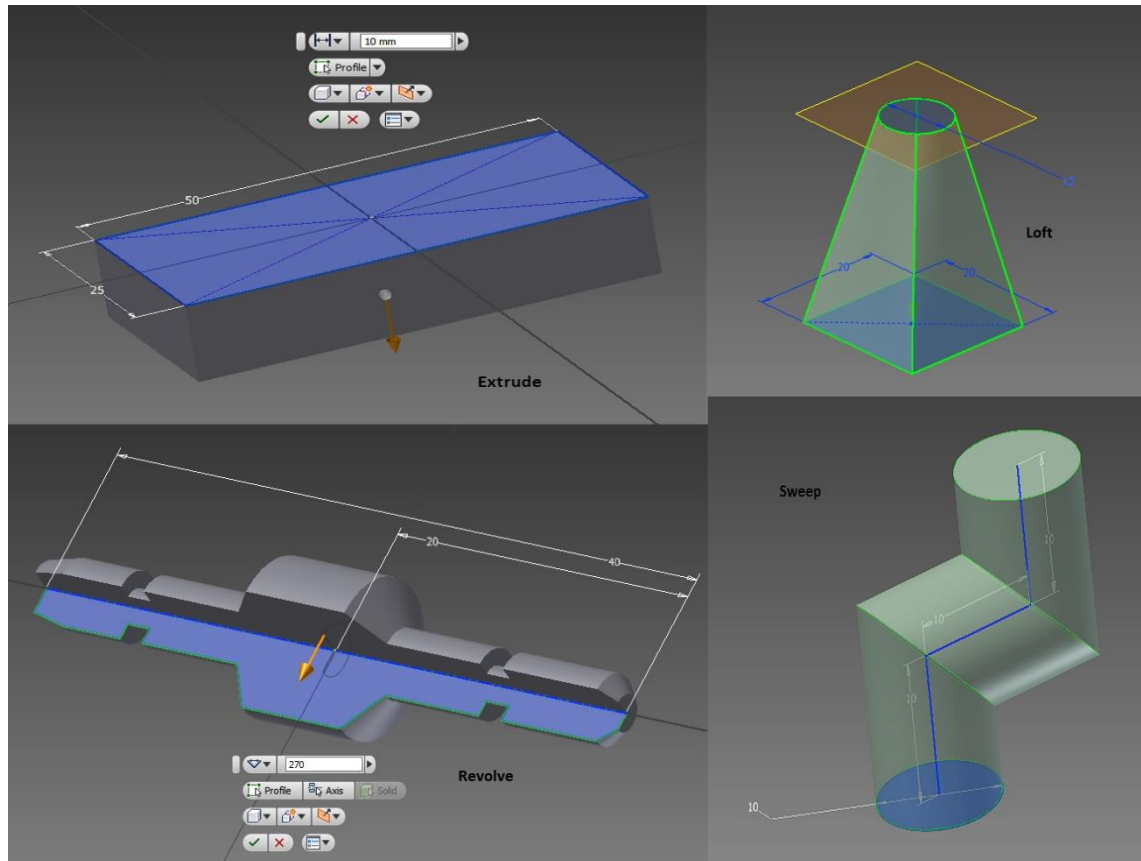
sketsien avulla pystytään tekemään kappaleita niin kuin tasosketseilläkin, mutta 3D-sketsi luodaan suoraan kolmiulotteiseen koordinaatistoon. 3D-sketsaus on hyödyllisin esimerkiksi erilaisia putkikappaleita tehdessä. (Tuhola & Viitanen 2008, 64–72, 78–79.)

Kappaleen toimivuuden kannalta on tärkeää, että sketsi on täysin määritetty. Joissain tilanteissa sketsiä ei määritetä täysin, jos esimerkiksi jotain mittoja ei tiedetä. Täysin määritetty sketsi tarkoittaa sitä, että se on täysin mitoitettu tai ehdot ovat asetettu. Jos sketsiä ei ole täysin määritetty, se voi hajota käsiin jotain mitta muokatessa. (Hietikko 2007, 80; Munford & Normand 2016, 1–2.)

4.3 Piirteiden luominen

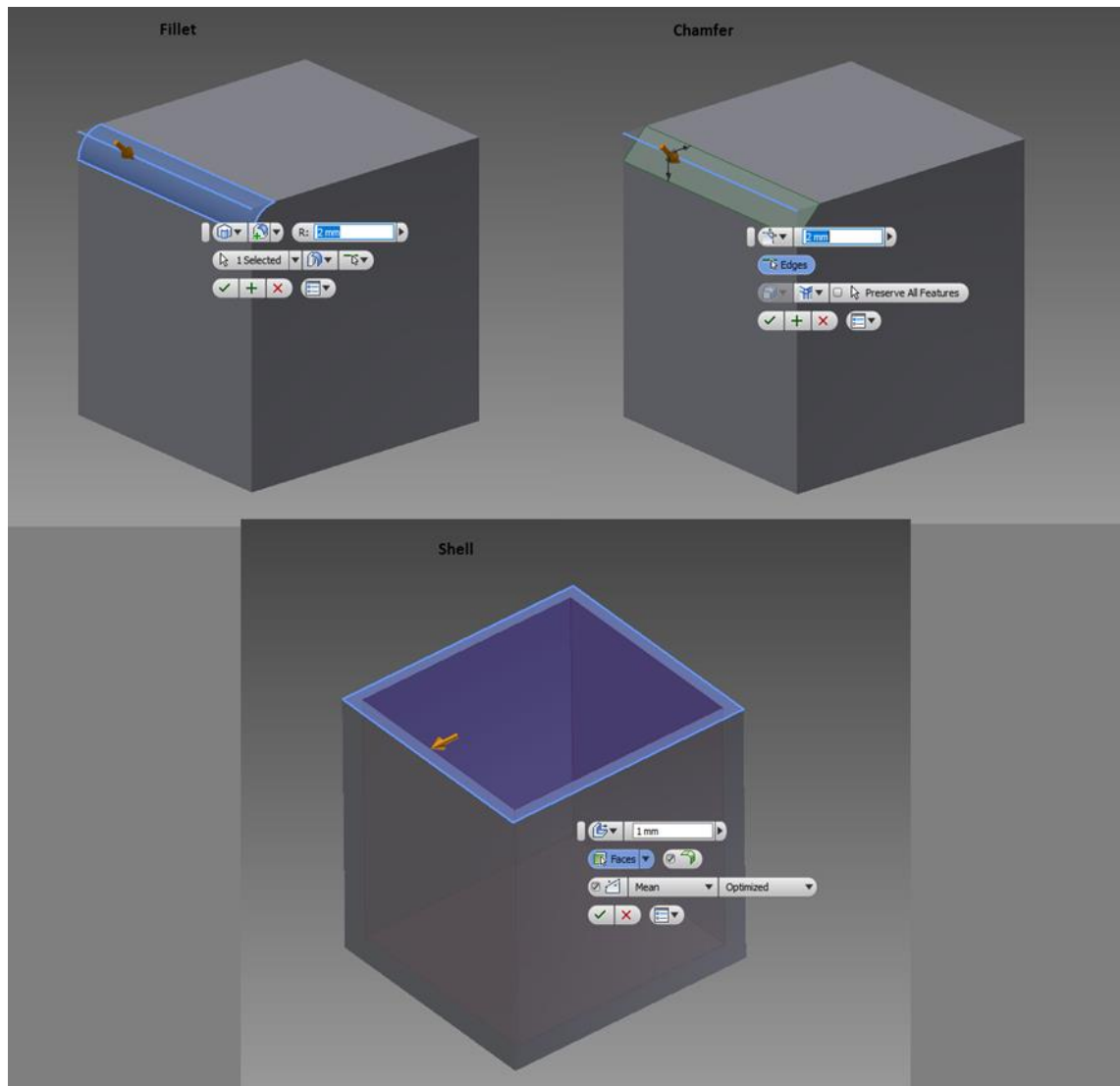
Kappaletta luodessa aloitussketsistä yleensä luodaan peruspiirre eli sketsattu piirre, joka toimii pohjana koko kappaleelle. Kaikki tämän jälkeen luodut piirteet ovat niin sanotusti ”parent-child” -suhteessa peruspiirteeseen, eli peruspiirteen muuttuessa muuttuvat myös kaikki siihen kytköksissä olevat piirteet. Muita piirretyyppejä sketsatun piirteen lisäksi ovat sijoitettu piirre, monistuspiirre ja apupiirre. (Hietikko 2007, 81.)

Sketsattu piirre on sketsin avulla luotu piirre. Tällaisia piirteitä ovat esimerkiksi: extrude, revolve, sweep ja loft (kuva 3). Extrude eli pursotuspiirteellä kappale luodaan suljetun profiilin avulla. Profiili luo muodon, jonka mukaan pursotus tapahtuu. Pursotuksen määrä voidaan määritellä eri komentojen avulla. Distance-komennon avulla pursotus tapahtuu annetun mitan verran, next-komennolla pursotus tapahtuu seuraavaan vastaantulevaan seinään asti, to-komennolla pursotus tehdään valittuun seinämään asti ja all-komennolla pursotus tapahtuu äärettömyyteen. Revolve eli pyörähdyspiirre luodaan nimensä mukaisesti pyöräyttämällä. Sketsatun profiilin ja valitun akselin avulla kappaleen muoto luodaan pyöräyttämällä profiili akselin ympäri tai jonkin asteluvun verran akselin ympäri. Yleensä akselina kannattaa käyttää apugeometriaa piirrettyä keskiviivaa. Sweep-piirre toimii osittain samoin kuin extrude. Siinä sketsataan profiili, joka muodostaa halutun näköisen kappaleen. Lisäksi erillisenä sketsinä luodaan polku, jota pitkin profiili etenee. Haluttu muoto siis kulkee piirrettyä rataa pitkin muodostaen kappaleen. Loft-piirre muodostuu useista sketsatuista profiileista. Sketsit luodaan aputasoja käyttäen halutulle välimatkalle toisistaan ja loft piirteellä muodot yhdistetään toisiinsa. (Hietikko 2007, 81–97; Munford & Normand 2016, 148–151, 160, 164, 207–210, 214.)



Kuva 3. Sketsatut piirteet.

Sijoitettuja piirteitä ovat esimerkiksi: fillet, chamfer ja shell (kuva 4). Fillet-piirre tekee pyöristyksen, chamfer-piirre viisteen ja shell-piirre poistaa valitun kappaleen sisältä halutun määrän materiaalia. Sijoitetuille piirteille ominaista on se, että ne eivät tarvitse erillistä sketsiä toimiakseen. Esimerkiksi fillet- ja chamfer-piirteet toimivat siten, että klikataan käsky aktiiviseksi ja valitaan haluttu särmä kappaleesta, johon piirre tulee. (Hietikko 2007, 97–98.)



Kuva 4. Sijoitetut piirteet.

Monistuspiirteet nimensä mukaisesti monistavat jo olemassa olevia piirteitä. Toiminnon suorittamiseksi pitää olla olemassa piirre, sekä referenssigeometriaa, joka määrittää monistuksen suunnat. Monistuspiirteitä ovat rectangular pattern, circular pattern ja mirror. Rectangular pattern -työkalulla voidaan monistaa piirrettä lineaarisesti yhteen tai kahteen suuntaan. Circular patternilla pystytään monistamaan piirteitä ympyrämuotoon. Mirror-toiminnolla on mahdollista peilata piirteitä jonkin tason suhteen. (Hietikko 2007, 102.)

4.4 Ohutlevymallinnus

Levymalli voidaan toteuttaa kahdella eri tavalla. Voidaan mallintaa kappale taivutetussa muodossa ja sitten tehdä levityskuva, tai luoda leikattu aihio, johon tehdään tarvittavat

taivutukset. Yleensä kappaleen toimintaan vaikuttaa enemmän taivutettu malli, joten useammin käytetty toimintatapa on mallintaa kappale suoraan taivutettuun muotoonsa. (Hietikko 2007, 211.) Jos on olemassa valmiina 2D-kuvat kappaleesta, on yleensä helpompi mallintaa leikattu aihio ja tehdä siihen tarvittavat taivutukset ja toimenpiteet.

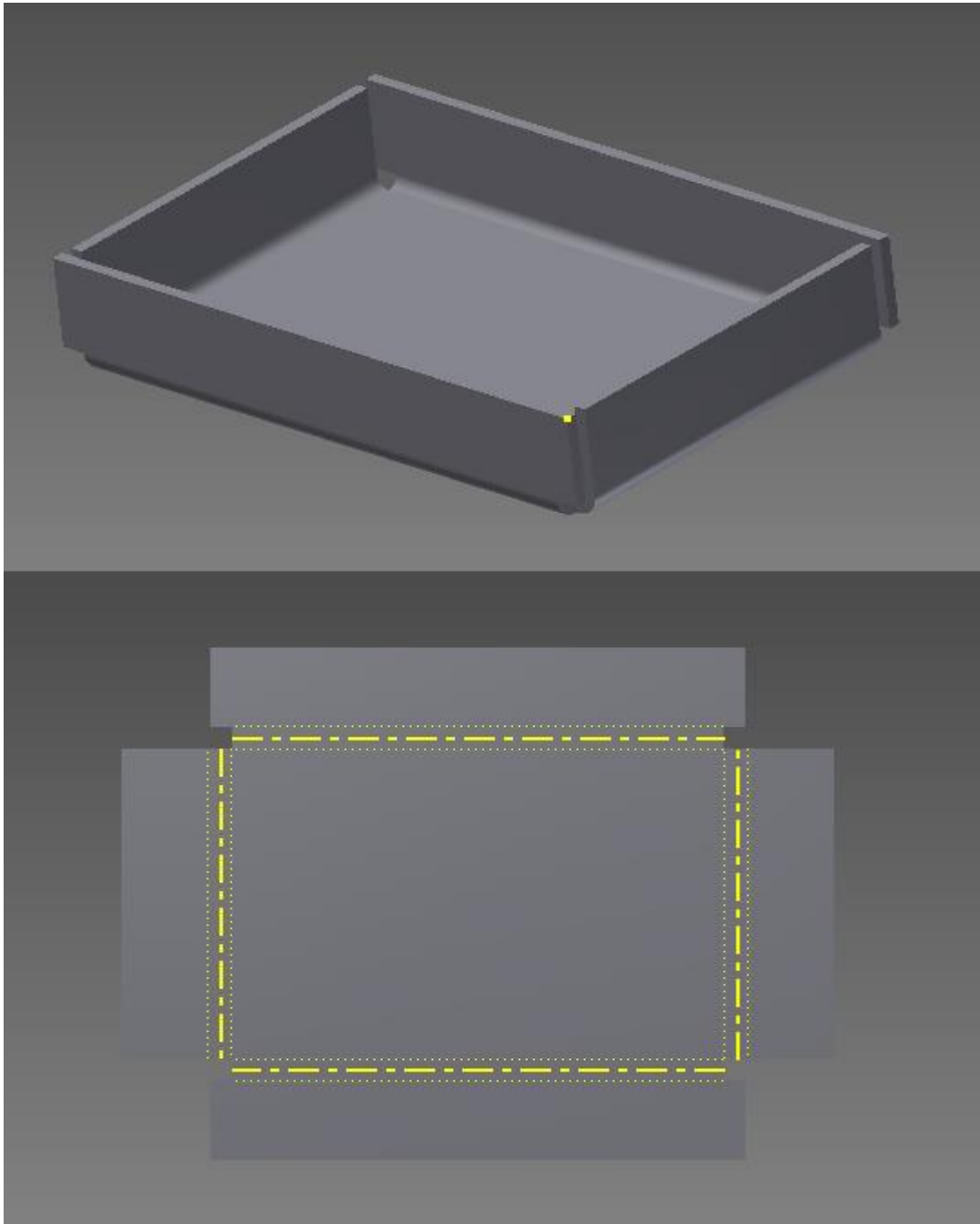
Levykappaleiden mallintaminen eroaa muiden kappaleiden mallintamisesta paljon, joten aloitettaessa levymalli valitaan sheet metal -mallipohja. Sheet metal -pohjassa on levymalleihin tarkoitettuja työkaluja. Lisäksi levykappaletta aloitettaessa on hyvä määrittää levyn ominaisuudet. Levykappaleelle voidaan määrittää tyylejä, jotka määräävät kappaleelle esimerkiksi: taivutussäteen, levynpaksuuden tai k-kertoimen. (Hietikko 2007, 212–213; Munford & Normand 2016, 269–270.)

Levymallin piirteet voidaan karkeasti jakaa kahteen osa-alueeseen: peruspiirteisiin, jotka luovat pohjan mallille, sekä piirteisiin, jotka muokkaavat tai lisäävät jotain jo tehtyyn malliin. Peruspiirteitä on neljä erilaista: face, contour flange, contour roll, sekä lofted flange. Face-työkalu toimii lähes samoin kuin extrude. Suljetun profiilin avulla levymalli muodostuu sen näköiseksi kuin profiili on piirretty. Contour flange -työkalulla pystytään luomaan suoraan malli, joka sisältää taivutuksia. Ohjelmalle käy minkä tahansa muotoinen avoin profiili ja työkalun avulla pursotetaan levy piirretyn profiilin malliseksi. Lofted flange -työkalu on hyvin samantyyppinen kuin loft-työkalu. Lofted Flange -työkalun avulla voidaan yhdistää erilaiset muodot toisiinsa piirtämällä alku- ja loppumuodot ja yhdistämällä ne. (Munford & Normand 2016, 270–275.)

Muokkaavia piirteitä on useampia kuin peruspiirteitä. Tällaisia piirteitä ovat esimerkiksi: flange, cut, ja fold. Flange-työkalulla voidaan lisätä valmiiseen levyyn uusi taso ja taivutus. Valitaan haluttu reuna, johon uusi pala luodaan ja sen jälkeen annetaan sopivat määritykset kuten taivutuskulma ja ohjelma luo halutun palan. Cut-työkalu on levymallin leikkaamiseen tehokas työkalu. Sen avulla piirretyn profiilin muoto voidaan leikata kappaleesta. Leikkauspaksuus voidaan määritellä ja sen ollessa koko levyn paksuuden verran, levynpaksuuden muuttuessa leikkauspaksuus muuttuu myös. Fold nimensä mukaisesti taivuttaa levyä. Valmiiseen levyyn sketsataan viiva, joka toimii taivutuksen keskilinjana. Tämä työkalu toimii hyvin aloitettaessa mallin luominen leikatusta aihioista. (Munford & Normand 2016, 276, 285, 294.)

Kaikista levymalleista on saatavilla levityskuva eli flat pattern (kuva 5). Flat pattern sisältää paljon tietoa, kuten tarvittavan levyaihion koon, taivutusten linjat, reikien ja iskujen

tiedot yms. Flat pattern -ympäristöllä on oma työkalupaneeli, jonka avulla levityskuvaa voidaan muokata. (Munford & Normand 2016, 311.)



Kuva 4. Flat pattern levityskuva.

4.5 Kokoonpanot

Kokoonpanoksi määritellään kaikki tuotteet, jotka sisältävät enemmän kuin yhden osan. Kokoonpano on tärkein havainnollistamisväline mallintamisympäristössä ja se on kokonaisuus, jossa pienet osakokonaisuudet on liitetty ydinosan ympärille. Kokoonpanot voidaan jakaa kolmeen pääryhmään, jotka ovat: pääkokoonpano, osakokoonpano ja tuotannon kokoonpano. Pääkokoonpano sisältää kaikki tarvittavat osat tuotteesta ja se onkin malli valmiista tuotteesta. Kaikki suuremmat tuotteet ja pääkokoonpanot on tehty osakokoonpanojen avulla. Osakokoonpano on pienempi kokoonpano ison kokonaisuuden sisällä. Osakokoonpanoja on helppo hallita ja siksi suuret kokoonpanot kannattaakin jakaa osakokoonpanoihin. Tuotannon kokoonpanossa on tarvittavien osien lisäksi määritetty kaikki määreet, joita osilla on. Usein pääkokoonpanot ovat tuotannollisia kokoonpanoja. (Tuhola & Viitanen 2008, 98–99.)

Kokoonpanoja voidaan luoda monella eri tavalla, mutta pääsääntöisesti käytetään kolmea tapaa. Jos tuotteen rakennetta ei tiedetä tarkasti, tuodaan yleensä pääkokoonpanon ydinosan ympärille yksi kerrallaan uusia osakokoonpanoja tai kappaleita. Tuotavat kokonaisuudet voivat olla vanhoja osia kirjastoista tai niitä voidaan luoda kokoonpanon edetessä. Toisessa tavassa yleensä mallin rakenne tiedetään tarkasti. Silloin luodaan kaikki osat ja osakokoonpanot ensin valmiiksi ja sen jälkeen pääkokoonpano kasataan. Kolmannessa tavassa käytetään apuna skeletoria. Skeletor on apusketsi, joka kuvaa jotain asiaa, joka määrää osien ja osakokoonpanojen paikat. Skeletor on osakokonaisuuksien ensimmäinen kiinnityskohta. (Tuhola & Viitanen 2008, 103–104.)

Kokoonpanoissa osat ja kokoonpanot liitetään toisiinsa erilaisten ehtojen avulla. Ehdot toimivat pitkälti samoilla tavoilla kuin tosielämän kiinnitystavat, kuten esimerkiksi hitsaus ja erilaiset pulttiliitokset. Tavallisimpia ehtoja ovat esimerkiksi erilaisten pintojen liittäminen toisiinsa tai reikien keskiakseleiden asettaminen samalle akselille. Liitosehtojen ollessa hyvin tehty, saadaan hyvä kokoonpano, jota voidaan simuloida. Jos taas kappaleiden väliset ehdot on huonosti tehty tai joitakin liitosehtoja puuttuu, on suuri riski, että kokoonpano hajoaa ja menee sekaisin. (Munford & Normand 2016, 371–375.)

4.6 Piirustukset

Suurin osa 3D-mallinnuksesta tähtää siihen, että tuotteesta saadaan tarkat piirustukset tuotannollisiin tarkoituksiin. Piirustuksia ovat osa- ja kokoonpanokuvat ja niiden avulla valmistetaan suunniteltu tuote. Piirustusten tärkeimpiä ominaisuuksia ovat selkeys ja helppolukuisuus ja niiden tulee täyttää standardien asettamat vaatimukset kuten piirustusmerkintöjen käyttö. (Tuhola & Viitanen 2008, 136–138.)

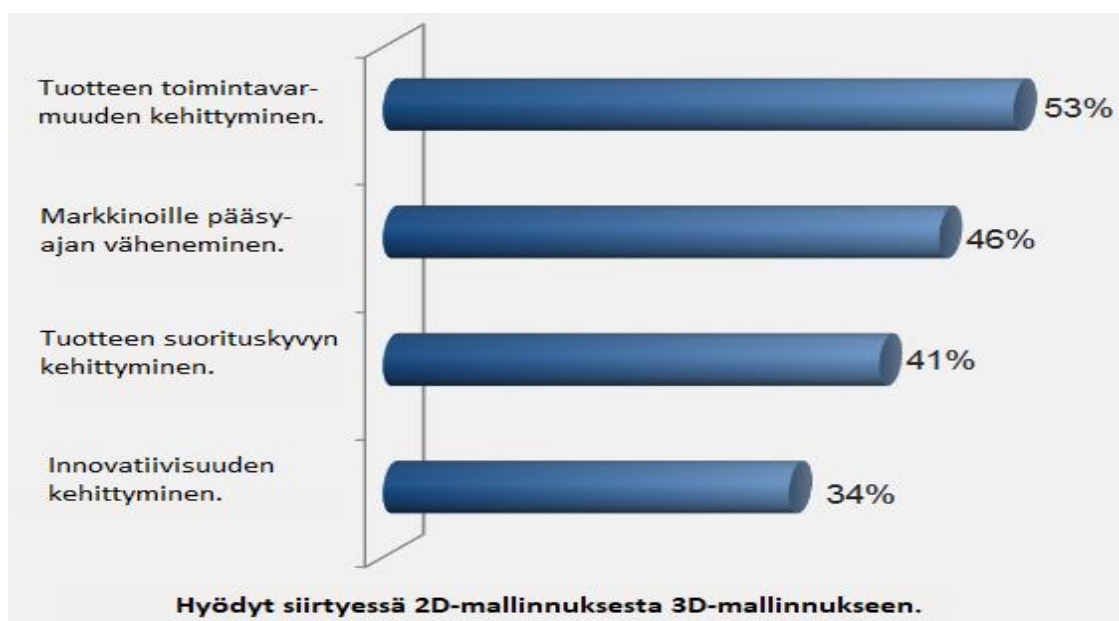
Oikein tehty piirustus sisältää paljon tietoa. Piirustus sisältää usein osanumeroinnin, osakuvien tuotetiedot, tuotteen mitat ja toleranssit sekä pintamerkit. Lisäksi tuotteen havainnollisuutta lisätään tekemällä kuvasta erilaisia tarkennuksia ja yksityiskohtia, kuten esimerkiksi: osasuurennot, leikkauskuvat sekä osaleikkaukset. Osasuurennot antavat tarkemman kuvan pienistä yksityiskohdista suurentamalla halutun kohteen. Leikkauksuvannoilla kappaleen kuva on leikattu jotain tiettyä tasoa tai linjaa pitkin. Tällä menetelmällä voidaan tarkastella kappaleen sisäisiä yksityiskohtia, jotka eivät näy tavallisissa kuvannoissa. (Tuhola & Viitanen 2008, 137–139.)

5 2D-MALLINTAMISESTA 3D-MALLINTAMISEEN

Iso osa mallinnustyökalujen käyttäjistä suosii yhä 2D-ympäristöä, vaikka 3D-menetelmien hyödyt ovat hyvin tiedossa. Suurimpia ongelmia siirtymisessä 2D-työkaluista 3D-työkaluihin on pelko siitä, että tuottavuudessa tulee liian iso menetys siirtymän aikana sekä uudelleenouluttautumisen hinta. Suunnittelijoiden syitä siirtymisen vastustamiseen ovat juurtuneet perinteet suunnitteluun 2D-ympäristössä sekä 3D-työkalujen tuomat vaatimukset työskentelytavoissa, kuten esimerkiksi parametrien, rajoitteiden ja reaalioiden määrittäminen. Muita siirtymistä hankaloittavia tekijöitä ovat 2D-työkaluilla tuotetun ”legacy datan” hallinta. (Dobrzynski 2014.)

5.1 3D-mallintamisen eduista

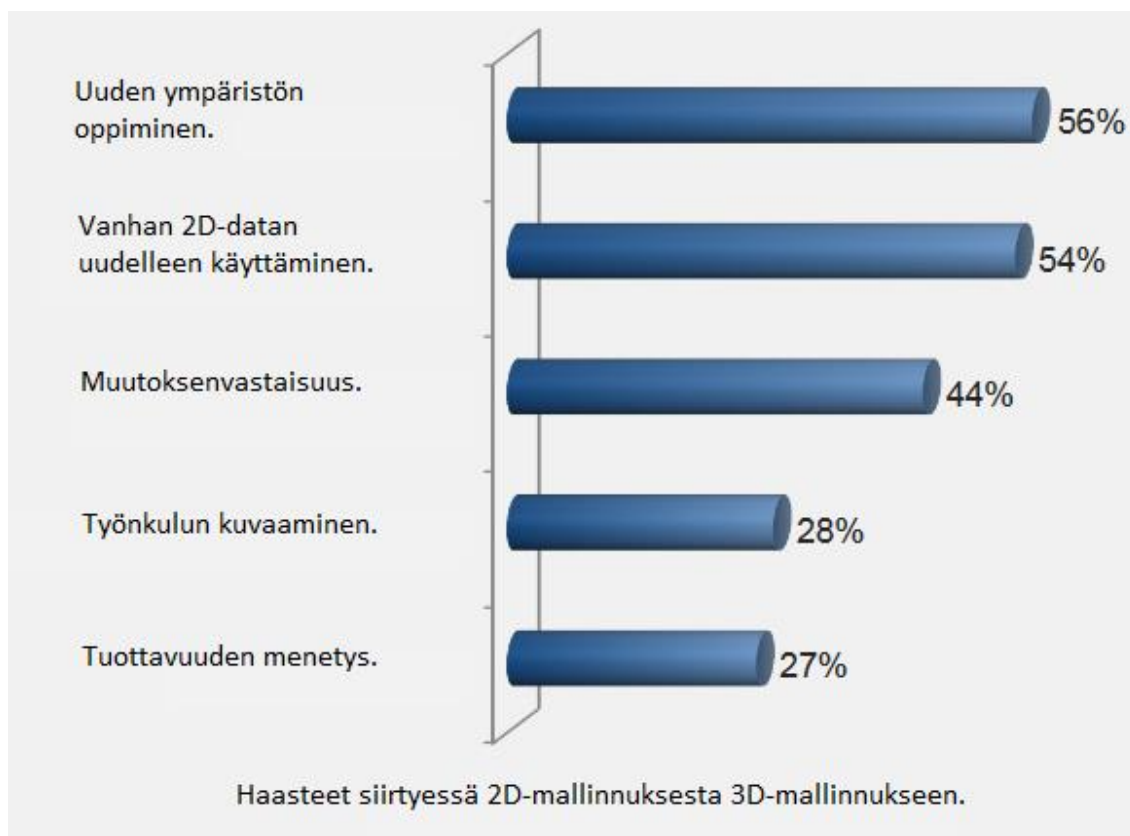
Monet yritykset ovat onnistuneet kasvamaan ja laajentumaan siirryttyään 2D-mallintamisesta 3D-mallintamiseen. 3D-mallintaminen lisää työn sulavaa etenemistä sekä tuotteiden laatua, tehostaa prosesseja, sekä lisää luovuutta. Näiden ansiosta voidaan säästää paljon aikaa, materiaaleja sekä rahaa (Arnaut 2016). Kuten Boucherin (2017, 5) tekemästä tutkimuksesta selviää, neljä suurinta etua 3D-ympäristöön siirtymisessä on tuotteiden laadun kehittäminen, tuotteiden julkaisunopeuden vähentyminen, tuotteiden suorituskyvyn lisääntyminen sekä innovatiivisuuden kehittyminen (kuvio 1).



Kuvio 1. 2D-mallinnuksesta 3D-mallinnukseen siirtymisen edut (mukaillen Boucher 2017).

5.2 Haasteet siirtyessä 2D-ympäristöstä 3D-ympäristöön

Muutokset eivät tule ilmaiseksi, vaan kaikella on ongelmansa. Suunnittelun muuttamisessa 2D-ympäristöstä 3D-ympäristöön on monia ongelmia. Niistä viisi suurinta ovat: uuden ympäristön oppiminen, 2D-materiaalin uudelleenkäyttö, muutoksenvastaisuus, työnkulun kuvaaminen sekä tuottavuuden menetys (kuvio 2). Uuden ympäristön oppimisella tarkoitetaan sitä, kuinka haastavaa on oppia käyttämään 3D-mallinnusohjelmaa, kun on totuttu 2D-järjestelmään. Samaan liittyy osittain kolmanneksi suurin haaste muutoksenvastaisuus, koska totuttua järjestelmää ei haluta muuttaa. Lisäksi 2D-kuvia on yrityksillä paljon ja niiden käyttäminen 3D-ohjelmistoilla vaikeutuu huomattavasti. (Boucher 2017, 6.)



Kuvio 2. Haasteet mallinnusympäristön muutoksessa (mukaillen Boucher 2017).

5.3 2D-kuvien siirtäminen 3D-ympäristöön

Tekniikan ja ohjelmistojen kehityksen myötä 2D-kuvien kääntäminen 3D-malliksi on tullut helpommaksi (Langnau 2007). On kuitenkin viisasta miettiä tarkkaan, mitä 2D-tiedos-

toille kannattaa tehdä. Tutkimuksen mukaan yritykset, jotka kääntävät 2D-tiedostot suoraan 3D-tiedostoiksi, kärsivät enemmän tappioita kuin ne yritykset, jotka käyttävät erilaisia toimintoja 2D-datalle. Erilaisia tapoja on esimerkiksi kääntää kuvat pdf-tiedostoiksi tai visuaalisiksi kuviksi riippuen käyttövaatimuksista. Keskimäärin yritykset muuttavat 43 % 2D-tiedostoista 3D-tiedostoiksi. (Boucher 2017, 9.)

Kääntäminen 2D-kuvista 3D-malleiksi on parantunut huomasti, mutta on tiettyjä vaatimuksia ja ohjeita toiminnon onnistumisen saavuttamiseksi. Tärkeintä koko prosessissa on ymmärtää mitä siinä tapahtuu ja hallita hyvin käytössä oleva ohjelmisto (Arnaut 2016). Lisäksi käännettävän mallin tarkkuus on iso tekijä onnistumisessa. Muotojen viivojen on koskettava toisiaan ja luotava yhtenäinen profiili, jotta muuntaminen onnistuu. (Gould 2011.)

Levymallin kääntäminen tapahtuu yleensä levyn piirretystä flat pattern -muodosta. Jos on olemassa hyvä flat pattern -malli DWG-tiedostossa, siitä on hyvä jatkaa mallinnusta. Kun DWG-tiedoston geometria on tuotu 3D-ohjelmaan, siitä on helppo muodostaa levy. Tämän jälkeen kannattaa edetä samoin, kuin tuote valmistetaan. Ensin muodostetaan reiät ja muut piirteet, ja sen jälkeen taivutukset. Taivutuksia tehdessä saattaa esiintyä ongelmia, koska osa on riippuvainen kopioidusta 2D-sketsistä ja jos taivutukset tekee väärässä järjestyksessä sisimmästä uloimpaan, ei viimeisiä taivutuksia pystytä tekemään sketsin puuttuessa. Ongelmia aiheuttaa myös se, että 2D-kuvasta usein puuttuu taivutushelpotukset, joiden ansiosta levy ei repeä taivuttaessa. (Kasprzak 2010.)

6 TYÖOHJEEN LAATIMINEN

Työohje laaditaan yleensä silloin, kun tarpeena on saada yksityiskohtainen opastus vaihe vaiheelta johonkin asiaan. Työohje antaa erityiset ohjeet toiminnon suorittamiseen. (James 2017.) Työohjeen päätarkoituksena on auttaa suorittamaan tehtävä oikein ja näin parantamaan toiminnan laatua. Työohjeen kohdehenkilönä on työntekijä ja pitääkin varmistaa, että ohjeen sisältö on suunnattu tarkoin henkilöille, jotka työn suorittavat. (Explainers 2018.) Hyvin tehtynä työohjeesta voi olla paljon apua: yrityksen sisällä kehitetyt hyvät toimintatavat pystytään opettamaan ja dokumentoimaan, työn laatu yrityksen sisällä kasvaa, uusien työntekijöiden on helpompi suoriutua tehtävistä nopeasti ja tehokkaasti, sekä virheiden ja väärinymmärrysten määrä vähenee. (Catherine 2016.)

6.1 Hyvän työohjeen vaatimuksia

Hyvällä työohjeella on monia vaatimuksia. Ohjeen pitää olla selkeä ja helppolukuinen. Sen pitää olla helposti ymmärrettävissä mahdollisimman pienellä vaivalla ja on tärkeää, että työntekijän ei täydy etsiä enää muualta täsmentävää tietoa. Tämä onnistuu helpoiten käyttämällä paljon havainnollistavia kuvia ja mahdollisimman vähän havainnollistavaa tekstiä. (Explainers 2018.) Työohjeella pitää olla selkeä ja looginen järjestys. Työvaiheiden tulee olla täysin oikeassa järjestyksessä ja kuvien tulee olla selkeästi sijoiteltu vaiheisiin. (Catherine 2016.) Luovuus työohjeessa saa työntekijän lukemaan ohjeen paljon todennäköisemmin, ja myös luottaa siihen paremmin kuin tavalliseen ohjeeseen. (Gluu; Explainers 2018.)

6.2 Yleiset virheet työohjeissa

Teknisissä dokumenteissa toistuu usein samat virheet, jotka saavat usein alkunsa erilaisista trendeistä. Neljä yleistä virhettä, joita teknisissä dokumenteissa esiintyy ovat: liian tiiviin tekstin kirjoittaminen, tekstin julkaiseminen ilman muokkauksia ja oikolukua, liian teknisen kielen käyttäminen sekä unohtaminen kirjoittaa siitä, kuinka työohjeessa kerrottu suorite tehdään. (Brown 2017.)

Tekstin ollessa tarkkaa ja oikeassa järjestyksessä, se on onnistunut. Usein kuitenkin ohjeissa teksti on suoraan henkilön ajatusvirtaa ja kirjoitettu liian tiiviiseen muotoon ilman

loogista jäsentelyä. Kohdehenkilön on erittäin haastava lukea tällaisia ohjeita ja kirjoitus kannattaakin pyrkiä aina paloittelemaan pieniin ja selkeisiin kokonaisuuksiin, jotka ovat oikeassa järjestyksessä. On todettu, että ohjeita kirjoittaessa kieliasun tarkastaminen jää todella vähälle. Pienetkin virheet, kuten pilkkujen puuttumiset saavat tekstin vaikuttamaan vaikealuetavalta, joka vaikuttaa välittömästi viestin perille saattamiseen. Tekstin tarkastaminen on pieni homma, mutta liian usein se jää tekemättä. Pienellä lisäpanoksella tällaiset virheet ovat kuitenkin vältettävissä. (Brown 2017.)

Työohjeen kirjoittajalla on usein hyvä tietämys asioista, mikä on hyvä asia ohjeen kannalta. Kirjoittajan täytyy silti muistaa, että ohjeen lukijalla on erittäin todennäköisesti paljon heikompi tietotaso. Teksti ei saa olla liian asiantuntevaa varsinkaan sanaston kannalta. Ohje on hukkaan heitetty, jos siinä on paljon teknisiä termejä, joita aloittelevan työntekijän on vaikeaa ymmärtää. Kannattaakin käyttää mahdollisimman tavallisia sanoja ja kuvailla tehtävä toimenpide tarkemmin. Viimeisenä kohtana on suoritettavan operaation opastamisen puutteellisuus. On monia työohjeita, joissa on hyvinkin tarkasti kerrottu se, mitä pitää tehdä. Ohjeissa on kuitenkin merkittäviä vajauksia siitä, kuinka tarvittava suorite tulee tehdä. Monessa työsuoritteessa helpottaa todella paljon, jos tehtävän suoritteen yhteyteen on selkeästi kerrottu, miten kannattaa toimia, jotta suorite onnistuu oikein. (Brown 2017.)

7 KASSAPÖYDÄN MALLINTAMINEN

Mallintamisessa helpoin tapa toimia oli bottom-up -menetelmän avulla. Ensin mallinetaan kaikki yksittäiset osat ja sen jälkeen luodaan niistä alikokoonpanot ja edelleen pääkokoonpano. Lopuksi tehtiin osa piirustuksista.

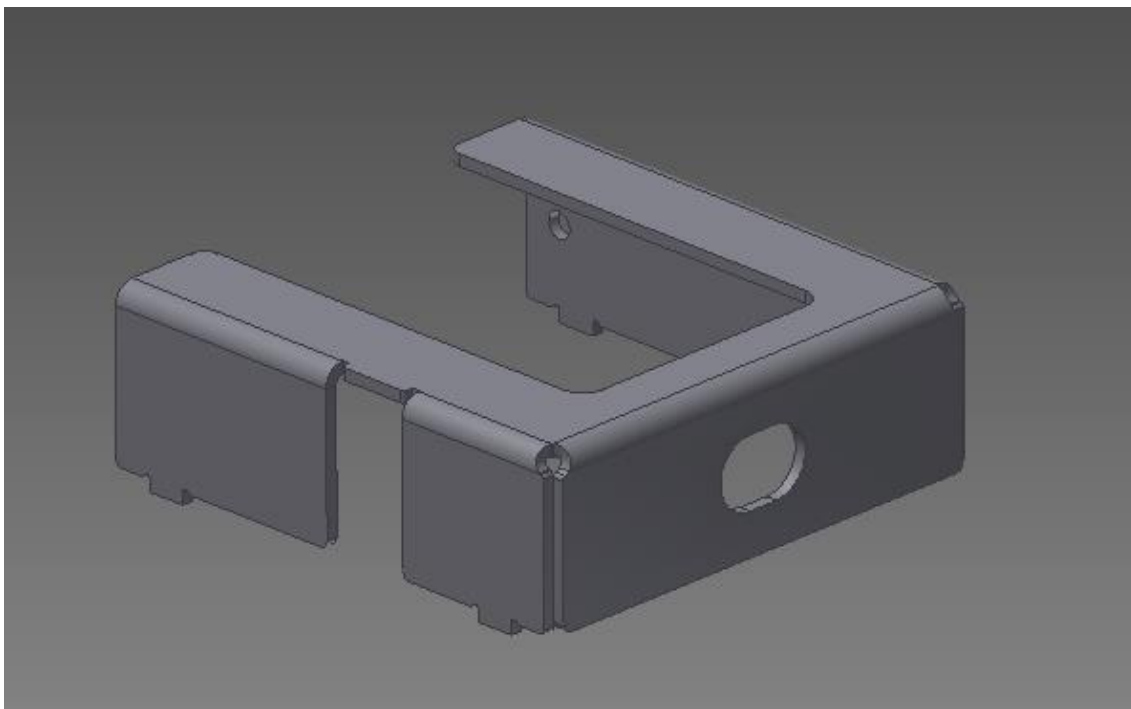
7.1 Osien mallintaminen

Aluksi pohdittiin, mikä olisi paras tapa saada muutettua 2D-kuvat 3D-malleiksi. Asiantuntijoiden avustuksella ja pienellä testailulla tultiin siihen tulokseen, että levyosien muodot kannattaa kopioida ja niiden pohjalta luoda 3D-malli. Levyosissa on aina levityskuva, joka on helppo kopioida ja sen pohjalta luoda kappale. Muiden osien mallintamisessa, kuten esimerkiksi akseleissa ja laakeripesissä, tultiin siihen lopputulokseen, että tarkimman jäljen saa tekemällä osat kokonaan uudelleen. AutoCAD-kuvat olivat onneksi hyvin mitoitettuja yksittäisten osien kohdalla, joten mallintaminen niiden avulla ei tuottanut suuria ongelmia.

Suurin osa kassapöydän osista oli levyosia ja ne mallinnettiin sheet metal -työkalua käyttäen. Levyosien mallintaminen alkoi siten, että Inventoriin avattiin yritykseltä saatu sheet metal -template, joka sisältää yrityksen käyttämät levykoot, sekä taivutusten parametrit. Tämän jälkeen osa avattiin AutoCAD:lla ja sen geometria kopioitiin. Geometriaa liittäessä Inventorin työnäkymään täytyi tarkistaa, että mitat kappaleessa olivat millimetrejä eikä tuumia. Sketsi-tilassa geometriaan ei saa tehdä muutoksia, sillä muoto hajoaa, koska se ei ole täysin määritelty. Tarvittavat muutokset tulee tehdä erillisinä piirteinä pinnan luonnin jälkeen. Kopioinnin jälkeen siirryttiin templatien automaattisesti avatusta sketsi-tilasta sheet metal -osioon, jossa määritettiin levyn paksuus, materiaali ja taivutusten asetukset. Valitulle levyn paksuudelle ohjelma määrittäi automaattisesti taivutuksille k-kertoimen arvon.

Oletuksena materiaalille oli teräs, joka toimi tässä tilanteessa hyvin. Alkutoimenpiteiden jälkeen muodosta luotiin levy face-komennon avulla. Koska asetukset on säädetty oikein, levystä tulee automaattisesti oikean paksuinen ja se on valmiina jatkotoimenpiteille. Taivutuksia tehtäessä levyaihioon, täytyy taivutuksille määrittää taivutuslinja. AutoCAD:lla luoduista DWG-kuvista on pääteltävissä taivutusten sijainti, jonka avulla taivu-

tuslinja pystytettiin piirtämään omana sketsinä levyaihion pintaan. Taivutusten jälkeen levyosaan tehtiin viimeistelytoimenpiteet, joita olivat esimerkiksi reunojen pyöristykset ja painaumien teko. Näiden toimenpiteiden jälkeen osa on tehty ja valmiina liitettäväksi kokoonpanoihin (kuva 5). Geometriaa kopioimalla säästettiin huomattavasti aikaa verrattuna siihen, että sketsi olisi piirretty itse käsin. Kappaleiden muokattavuus ei ole samalla tasolla kokonaan itse tehtyjen mallien tavoin, mutta sitä ei painotettu tässä projektissa.



Kuva 5. Mallintamani levyosa.

Muissa osissa, jotka eivät ole levyosia, käytettiin tavallisia mallinnuksen keinoja. Tarkkojen 2D-kuvien avulla luotiin tavanomainen sketsi ja siitä edelleen piirteet. Esimerkiksi laakeripesät oli helppo tehdä revolve-komennon avulla. Pääpiirteen muodostamisen jälkeen osaan tehtiin tarvittavia muokkauspiirteitä, kuten pyöristyksiä. Alusta loppuun itse mallintamalla saatiin luotua malleja, joita on helpompi muokata tulevaisuudessa verrattuna levymalleihin, joiden geometria on kopioitu. Yksittäisten osien mallintaminen oli projektin työläin osuus varsinkin alussa, kun samalla täytyi tehdä havaintoja ja tutkimusta siitä, miten prosessissa kannattaa edetä.

7.2 Kokoonpanojen luominen

Kun kaikki osat oli saatu mallinnettua, siirryttiin kokoonpanojen luontiin. Aluksi luotiin alikokoonpanot eri kokonaisuuksista, kuten esimerkiksi runko ja pakkaustaso. Kokoonpanot luotiin käyttäen tavanomaisia liittämiskomentoja. Tällaisia komentoja ovat esimerkiksi mate, jolla voidaan yhdistää pintoja toisiinsa ja insert, jolla voidaan asettaa reikien keskiakselit kohdikkain. Kun alikokoonpanot oli tehty, yhdistettiin kaikki yksittäiset osat sekä alikokoonpanot toisiinsa, mitkä muodostivat pääkokoonpanon (kuva 6). Pääkokoonpanon liitokset olivat suurimmaksi osaksi tavallisia pinta-pintaan-liitoksia, mutta korkeuden säätöä varten täytyi liitokseen tehdä erityistoimenpiteitä. Drive-komentoa käyttäen pystyttiin asettamaan korkeudelle liike pöydän korkeuden ääriasentojen avulla.



Kuva 6. Kassapöydän pääkokoonpano.

7.3 Piirustusten laadinta

Piirustusten laadinta oli itselle vierain osuus prosessista, koska kokemusta ei juurikaan ollut. Pienen koulutuksen, sekä itseopiskelun jälkeen piirtäminen kuitenkin sujui mallikkaasti. Yksinkertaisimpien levyosien piirustuksissa osa kuvattiin kolmesta eri kuvannosta yhden käännön menetelmällä. Lisäksi osa kuvattiin isometrisestä kuvannosta, sekä levi-

tyskuvannosta. Tarkemmissa osissa täytyi käyttää myös leikkausprojektioita ja osasuurenoksia. Kokoonpanojen piirustuksissa täytyi luoda osaluettelo, sekä merkitä kuvantoihin osanumerot. Hitsausmerkintöjen teko oli piirustusten haastavin osuus, ja se vaati syventymistä aiheeseen. Onneksi yrityksellä oli kattava materiaali hitsausmerkeistä ja niiden käytöstä, mikä helpotti prosessin etenemistä.

7.4 Kohdatut ongelmat ja ratkaisut

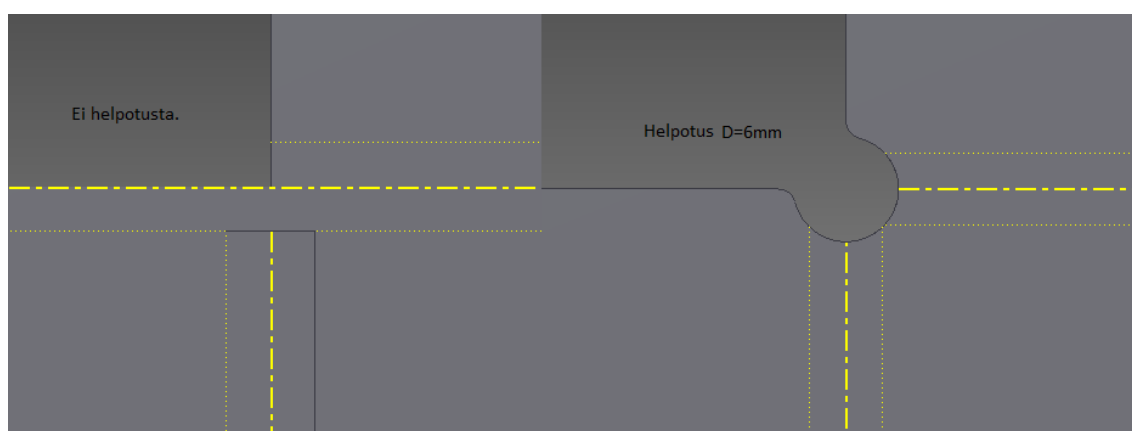
Mallintamisprojekti ei sujunut ilman ongelmia. Prosessin alussa aikaa kului huomattavasti erilaisten ongelmien havainnointiin ja ratkaisuun. Ensimmäinen ongelma ilmaantui liittäessä kopioitua geometriaa Inventorin työnäkymään. Mitat olivat sekaisin ja ongelman aiheutti se, että ohjelma muutti geometrian mitat tuumiksi. Asetuksista täytyi vaihtaa mitat takaisin tuumista millimetreiksi, jotta muodot pysyivät oikeina.

Toinen selkeä ongelmakohta liittyi levyn paksuuden määrittämiseen. Yrityksen mallikirjastossa on määritettyinä levyjen paksuuksia ja näille paksuuksille omat taivutuskertomensa. Kirjastossa levyjen paksuudet esiintyvät millimetrien välein ja ongelma esiintyy vain, jos levyn paksuus poikkeaa mallikirjaston paksuudesta, kuten esimerkiksi 1,25 mm. Tässä tapauksessa täytyy valita 1 mm tai 2 mm paksu levy ja muuttaa se 1,25 mm paksuksi. Taivutuserrointa taas ei ole määritetty kaikille paksuuksille, ja se pysyy kirjastosta valitun paksuuden mukaisena. Tästä seuraa se ongelma, että taivutuksessa levy ei käytädy paksuutensa mukaan (liite 1). Oikeassa ympäristössä muutos on useimmissa tapauksissa mitättömän pieni, mutta 3D-mallien ollessa äärimmäisen tarkkoja, ohjelmassa levyt saattavat törmätä toisiinsa. Ratkaisuna ongelmaan kannattaa aina valita paksuudeksi suurempi paksuus eli tässä tapauksessa 2 mm. Silloin taivutussäde on suurempi ja levyt eivät törmää toisiinsa.

Taivutuksia tehdessä järjestystä tuli miettiä. Jos samalla seinämällä on useita taivutuksia, kannattaa ensiksi tehdä uloin taivutus. Tämä johtuu siitä, että taivutuslinja on paljon helpompi määrittää ensiksi uloimmalle taivutukselle koko sketsin ollessa samassa tasossa. Hyvin tehdyistä AutoCAD-kuvista pystyy toki mittaamaan mittoja ja määrittämään taivutuslinjat missä tahansa järjestyksessä, mutta se lisää työmäärää entisestään.

Taivutuksia tehdessä taivutussäde määräytyy levyn paksuuden mukaan. AutoCAD:lla tehdyissä piirustuksissa taivutushelpotuksia ei ollut tai ne olivat liian pieniä siihen, mitä

Inventor vaati (kuva 7). Tämä johti siihen, että taivutukset jatkuivat koko osan sivun mitalla, eivätkä pysähtyneet taivutuksia varten tehtyihin helpotuksiin. Ongelma esiintyi aina, kun taivutuksen alku- tai loppupisteessä oli seinämien risteys. Ongelman ratkaisemiseksi helpotusreikiä piti suurentaa tai ne piti luoda aina ennen taivutusten mallintamista (kuva 7). Aluksi oli vaikeaa hahmottaa sitä, koska avustusreikiä täytyi suurentaa ja kuinka paljon. Alussa täytyi usein tehdä ensin taivutus, jotta huomasi ongelman, mutta projektin edetessä ongelman pystyi havaitsemaan jo heti geometrian nähdessä. Tämäkin ongelma liikkuu muutaman millimetrin luokassa ja ei käytännössä vaikuta juurikaan, mutta 3D-mallia luodessa ongelma oli hyvin häiritsevä.



Kuva 7. Taivutushelpotus.

Koska taivutussäteet ovat suurempia Inventorissa kuin mitä AutoCAD:lla on määritetty, kappaleiden ääriimitat saattavat muuttua hieman. Mitä enemmän taivutuksia kappaleessa on, sitä enemmän mitat muuttuvat. Tässäkin kyse on todella pienistä heitoista, mutta kokoonpanoja tehdessä saattaa esiintyä odottamattomia ongelmia. Osat eivät välttämättä sovi toisiinsa täydellisesti, vaan joissain tilanteissa saattaa tulla rakoja tai päällekkäisyyksiä kappaleiden väliin (liite 1). Tähän ongelmaan ei ole ratkaisua, vaan suunnittelijan pitää tietää onko kyseisellä ominaisuudella merkitystä kappaleen toimintaan.

8 TYÖOHJEEN LAATIMINEN MALLINNUSPROJEKTIN AVULLA

Koska tarve 2D-kuvien siirtämiseen 3D-ympäristöön tulee todennäköisesti ajankoh-
taiseksi tulevaisuudessa, päätettiin luoda työohje (liite 1) kyseiselle prosessille mallin-
nusprojektin avulla. Tutkimustyö ja ohjeen sisältö oli pitkälti tehty mallintamisen aikana,
sillä siinä täytyi jatkuvasti pohtia ja ratkoa ongelmia. Ohjeen runko rakentui siitä, miten
kuvien siirtäminen kannattaa tehdä ja mitä ongelmia prosessissa esiintyy.

Aluksi täytyi tutkia kirjallisuutta, millainen hyvän työohjeen tulisi olla. Selkeys ja helppo-
lukuisuus olivat isoimmat tekijät, jotka määrittivät ohjetta. Lisäksi loogiseen etenemiseen
ja työvaiheiden selkeään erotteluun oli hyvä kiinnittää huomiota. Ohje etenee selkeästi
vaihe vaiheelta prosessin alusta loppuun. Siinä kerrotaan selkeästi suoritteet, jotta on-
nistutaan varmasti. Ohjeessa on pyritty käyttämään paljon kuvia, joita on muokattu ha-
vainnollistaviksi erilaisten korostavien työkalujen avulla. Lisäksi tekstiä on käytetty mah-
dollisimman vähän, jotta ohjeen yksinkertaisuus säilyisi.

Ohjeen ensimmäisissä kappaleissa käydään läpi vaiheet, joissa kerrotaan sketsin kopi-
ointiin ja liittämiseen kuuluvista asioista ja ongelmista. Sketsi on mahdollista kopioida ja
liittää usealla tavalla ja oikean tavan valinta on varsin oleellista toimenpiteessä, sillä vää-
rällä tavalla toteutettuna mittasuhteet saattavat mennä sekaisin. Esimerkiksi Inventorin
omalla työkalulla toteutettuna mittasuhteet ovat menneet lähes poikkeuksetta väärin.
Ohjeessa on kerrottu menetelmä, miten toimia, jos mittasuhteet eivät säily ennallaan ko-
pioinnin ja liittämisen jälkeen. Keskivaiheen kappaleissa on kerrottu levyaihion muok-
kauksessa esiintyvistä ongelmista, kuten taivutuksissa esiintyvistä ongelmista ja esitetty
näihin ratkaisut. Lopuksi käydään läpi, mitä huomioitavaa on kokoonpanoissa silloin, kun
ne on tehty osista, joiden geometria on kopioitu. Lisäksi ohje sisältää muutaman vinkin,
jotka toimivat muutenkin kuin kopioidulla geometrialla. Tällaisia vinkkejä ovat sketsin si-
joittaminen origoon nähden sekä tehtyjen osien viimeistely.

Työohje on suunnattu pääosin toimeksiantajayritykselle, joten kaikkea ohjeen sisältöä ei
voida suoraan käyttää yleisesti. Esimerkiksi ohjeessa on kuvattu ongelma, joka esiintyy,
kun käytössä on tietynlainen mallikirjasto. Lisäksi ohjeessa on kuvattu ongelma ja rat-
kaisu taivutuksiin ja niiden helpotuksiin liittyen. Tämä ongelma on myös tapauskohtai-
nen, eikä sitä välttämättä esiinny kaikissa tapauksissa.

9 YHTEENVETO

Kun 2D-geometriaa kopioidaan suoraan uusiokäyttöön, mallin muokkausominaisuudet heikkenevät huomattavasti. Sketsin muokkaamisella saadaan koko malli hajoamaan ja jos muutoksia halutaan tehdä, tulee ne tehdä uusina piirteinä valmiiseen levyyn. Geometrian kopioiminen on kuitenkin tehokkain tapa saada DWG-kuvat siirrettyä 3D-malleiksi, vaikka muokattavuus kärsiikin. Ainut täydellinen tapa saada siirto tehtyä on mallintaa haluttu osa alusta loppuun asti itse, mutta se on ajallisesti huono tapa.

Kassapöydän mallintaminen lähti aluksi hitaasti liikkeelle koko kokonaisuuden ollessa vaikeasti hahmotettavissa. Sisällöksi rajattiin aluksi kassapöydän 3D-mallintaminen ja työpiirustusten teko, mutta matkan varrella mukaan otettiin työohjeen teko ja piirustuksista osa karsittiin pois. Muutaman viikon pohdiskelun jälkeen ja yrityksestä saatujen ohjeiden avulla kokonaisuus alkoi selkeytyä ja työn aikataulutus muodostua. Mallintaminen uudella ohjelmistolla vei oman aikansa, mutta oli hienoa huomata kehitys mallinnuksessa. Alun vaikeuksien jälkeen työskentely eteni melko helposti. Mallintaminen oli itsenäistä työskentelyä, mutta yrityksen kanssa pidettiin palaverreja tietyin väliajoin, joissa ratkottiin havaittuja ongelmia ja haettiin apua tuotannon puolelta. Työohje oli helppo tehdä koko mallinnusprosessin jälkeen huomioiden ja ongelmien havaitsemisen jälkeen.

Alussa asetettuihin tavoitteisiin päästiin ja lopputuotteena saatiin valmiiksi mallinnettu kassapöytä. Kassapöydän osien mallintaminen onnistui hyvin, kuten myös kokoonpanojen luominen. Valmis 3D-malli on hyvä lisä visualisointiin asiakkaalle, ja sen avulla on paljon helpompi havaita virheitä. Prosessin aikana yhteen osaan tuli muutoksia, minkä vuoksi kiinnitys ei onnistunutkaan vanhalla tavalla. 2D-kuvista tätä ongelmaa ei ollut helppoa havaita, mutta kun osaa liitettiin kokoonpanoon, virheen huomasi heti. 3D-mallista on myös helpompi havainnollistaa kassapöydän ominaisuuksiin kuuluva korkeussäätö. Piirustuksista tehtiin osa, ja suuresta osasta jouduttiin luopumaan työn rajauksen vuoksi. Luodusta työohjeesta on helppo aloittaa siirtoprosessi, kun sitä tarvitaan. Ohjeen avulla suunnittelija on heti tietoinen eteen tulevista ongelmista, eikä niitä tarvitse erikseen alkaa ratkaisemaan. Ongelman esiintyessä on helppo katsoa ohjeesta, miten tilanteessa kannattaa toimia.

Rajallisen ajan takia työohje käsittelee vain levytuotteiden siirtoa 2D-kuvista 3D-malleiksi. Jos halutaan saada siirrettyä muita osia yhtä helposti, täytyy suorittaa lisää tutkimusta sekä testausta.

Opinnäytetyö oli työläs ja opettava projekti. Omasta mielestäni onnistuin tehtävässä hyvin, vaikka aikataulutusta olisi voinut tehostaa. Koska kassapöydän tuotanto oli vasta aluillaan, oli hienoa nähdä suunnittelun tulokset hallin lattialla. Myös osissa havaittujen ongelmien muutoksia oli opettavaista tehdä, sillä siinä huomasi, kuinka paljon tuotetta täytyy muokata ennen kuin se on täysin valmis. 3D-mallintaminen luonnistuu projektin ansiosta mallikkaasti, mistä on varmasti hyötyä tulevaisuudessa.

LÄHTEET

3D Innovations. The History of Computer-Aided Design (CAD). 2018. Viitattu 2.5.2018. <https://3d-innovations.com/blog/the-history-of-computer-aided-design-cad/>

Arnaut, F. 2016. TECHNICAL DRAWING - WHAT TO GAIN FROM THINKING 3D. Viitattu 30.5.2018. <https://www.bemstud.io/single-post/2016/09/27/TECHNICAL-DRAWING---WHAT-TO-GAIN-FROM-THINKING-3D>

Bethany. 2018. Autodesk – Everything You Need To Know. Viitattu 3.5.2018. <https://www.scan2cad.com/cad/autodesk/>

Boucher, M. 2017. The How-to Guide for Transitioning from 2D CAD to 3D CAD. Viitattu 30.5.2018. <http://www.solidworks.com/sw/docs/Tech-Clarity-eBook-2D-to-3D.pdf>

Brown, C. 2017. 5 Technical Writing Mistakes to Avoid. Viitattu 13.6.2018. <https://www.dozuki.com/blog/2017/10/10/5-technical-writing-mistakes-to-avoid/>

CADAZZ. CAD software - history of CAD CAM. 2004. Viitattu 2.5.2018. <http://www.cadazz.com/index.htm>

Catherine. 2016. What's the difference between procedures and work instructions? Viitattu 25.5.2018. <http://www.lexingtonwriting.com/whats-the-difference-between-procedures-and-work-instructions/>

Davies, J. 2018. 3D Modeling CAD Software. Viitattu 3.5.2018. <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/3d-modeling-cad-software>

Dobrzynski, D. 2014. Transitioning from 2D to IronCAD 3D. Viitattu 30.5.2018. <http://www.iron-cad.com/blog/transitioning-2d-ironcad-3d/>

English, T. 2017. A Look at the History of Inventor Through the Eyes of Jay Tedeschi. Viitattu 10.6.2018. <http://blogs.autodesk.com/inventor/2017/01/20/look-history-inventor-eyes-jay-te-deschi/>

Explainers. 2018. Four Essentials of Effective Work Instructions. Viitattu 25.5.2018. <http://www.explainers.com/Articles/Four-Essentials-Effective-Work-Instructions.htm>

Forssan Levy Oy. 2018. Forssan Levy Oy. Forssan Levy Oy intranet. Vain sisäiseen käyttöön. Viitattu 10.6.2018.

Gluu. How to write work instructions. Viitattu 25.5.2018. <https://www.gluu.biz/how-to-write-work-instructions/>

Gould, L. 2011. What's Blocking The Move From 2D to 3D? Viitattu 31.5.2018. [https://www.adandp.media/articles/whats-blocking-the-move-from-2d-to-3d\(2\)](https://www.adandp.media/articles/whats-blocking-the-move-from-2d-to-3d(2))

Hietikko, E. 2007. Autodesk Inventor. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

James, A. 2017. What is a Work Instruction? Viitattu 25.5.2018. <http://klariti.com/software-development/what-is-a-work-instruction/>

Kasprzak, K. 2010. Turning Sheet-Metal Drawings into 3D Solid Models. Viitattu 31.5.2018. <http://www.machinedesign.com/archive/turning-sheet-metal-drawings-3d-solid-models>

Langnau, L. 2007. Shifting from 2D to 3D CAD. Viitattu 31.5.2018. <https://www.designworldonline.com/shifting-from-2d-to-3d-cad/>

Munford, P & Normand, P. 2016. Mastering Autodesk Inventor 2016 and Autodesk Inventor LT 2016. Indianapolis, Indiana: John Wiley & Sons, Inc.

Pere, A. 2012. Koneenpiirustus 1 & 2. Espoo: Kirpe Oy.

Reuters. 2018. Autodesk Inc. Viitattu 3.5.2018. <https://www.reuters.com/finance/stocks/company-profile/ADSK.O>

Tornincasa, S. & Di Monaco, F. 2010. THE FUTURE AND THE EVOLUTION OF CAD. <http://citeserx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.403.220&rank=9>

Tuhola, E. & Viitanen, K. 2008. 3D-mallintaminen suunnittelun apuvälineenä. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy

Työohje 3D-mallintamiseen 2D-kuvien avulla

Forssan Levy Oy

Työohje 3D-mallintamiseen 2D-kuvien avulla

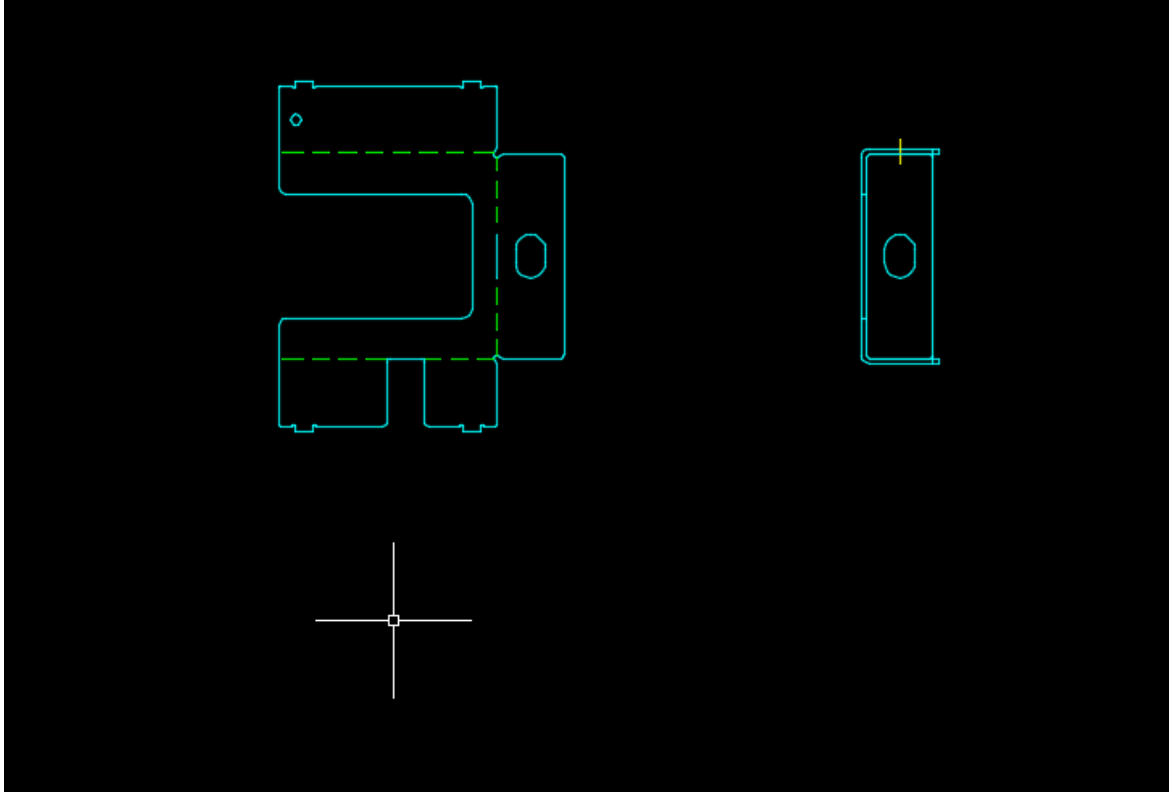


SISÄLTÖ

1 SKETSIN KOPIOINTI	3
2 SKETSIN TUONTI	6
3 SHEET METAL ASETUKSET	9
4 TAIVUTUKSET	10
5 OSIEN VIIMEISTELY	12
6 KOKOONPANOISSA HUOMIOITAVAA	13

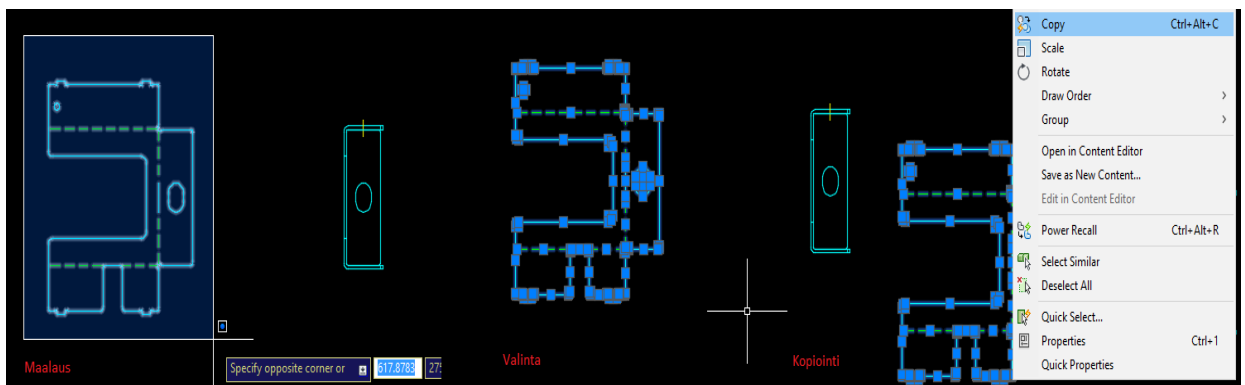
1 SKETSIN KOPIOINTI

Sketsin kopiointi aloitetaan avaamalla DWG-tiedosto (kuva 1).



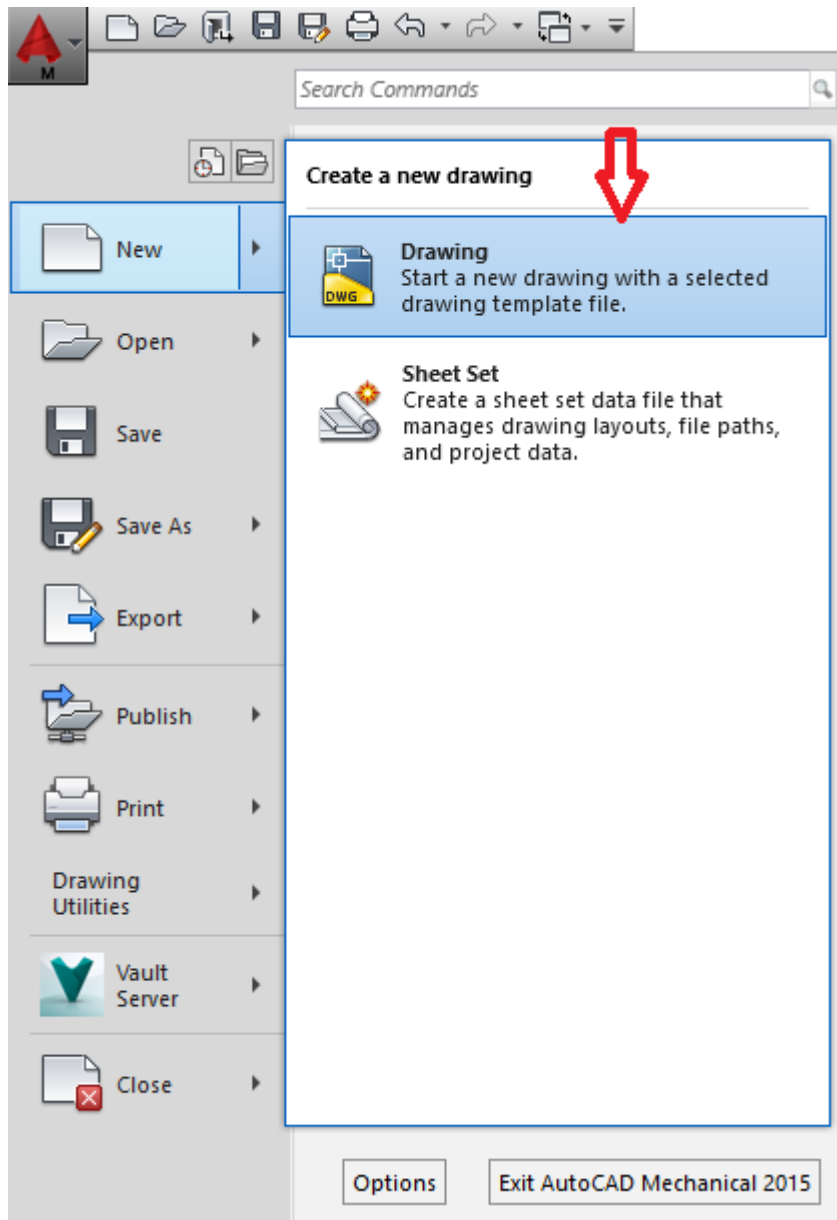
Kuva 1. Avattu DWG-tiedosto.

DWG-tiedoston avaamisen jälkeen etsitään kuvannoista flat pattern eli levityskuva ja valitaan se maalaamistyökalulla. Kun valinta on tehty, kopioidaan geometria (kuva 2).



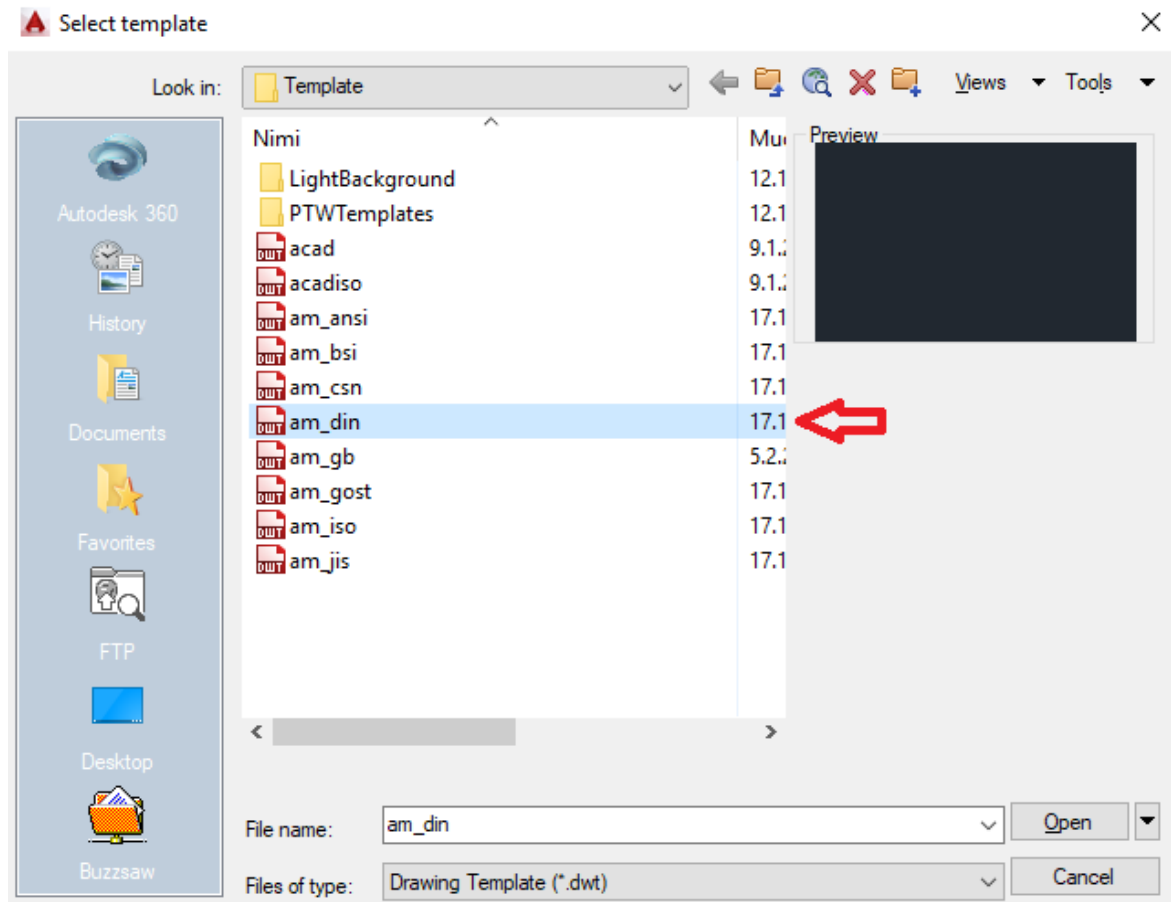
Kuva 2. Geometrian valinta ja kopiointi.

Ohjelmistoversiosta riippuen, suora sketsin kopioiminen 2D-kuvasta saattaa vääristää kuvasuhdetta. Jos näin käy, ongelma on ratkaistavissa seuraavasti: avataan AutoCAD:iin uusi tyhjä pohja (kuva 3).



Kuva 3. Uuden pohjan avaaminen.

Valitaan oikea template pohjaksi (kuva 4).

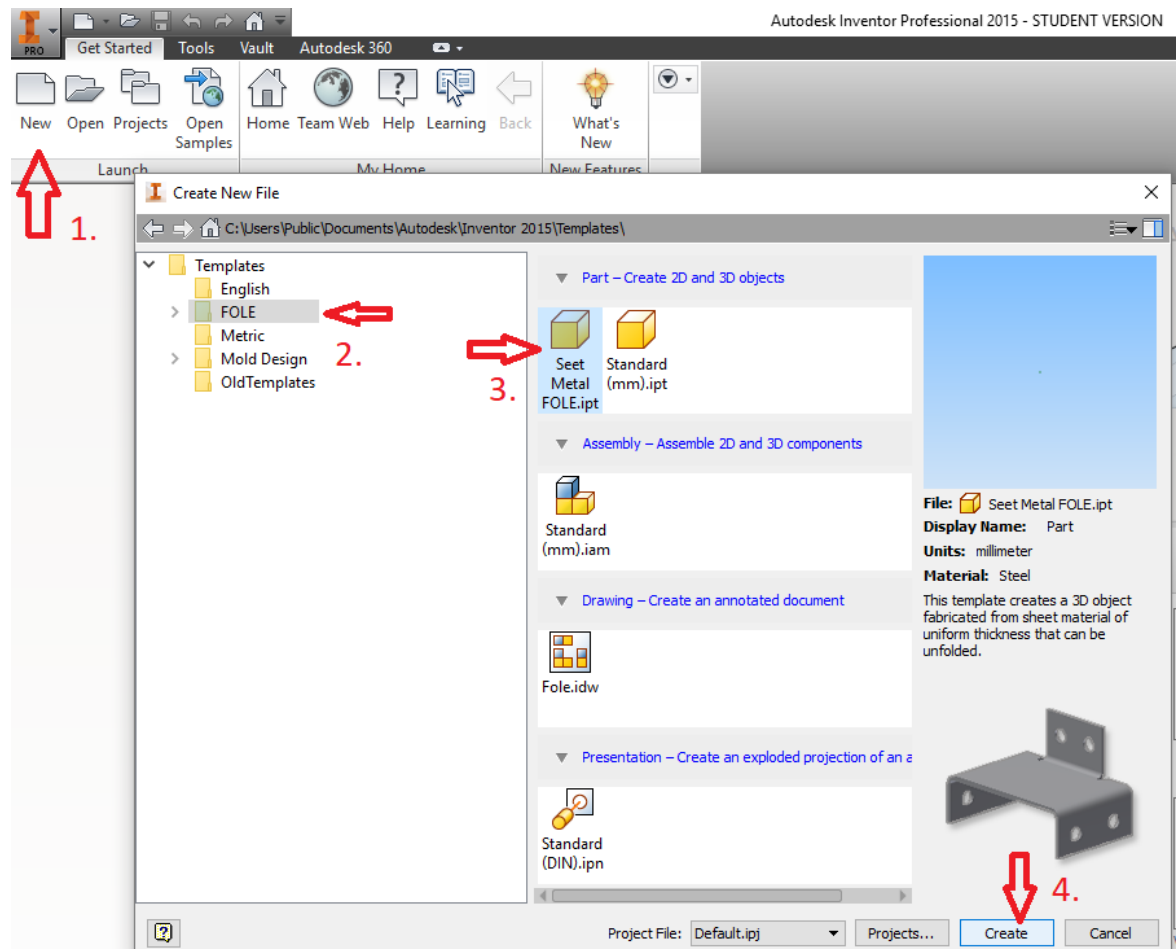


Kuva 4. Oikean templatien valinta.

Uudelle pohjalle liitetään kopioitu geometria ja sen jälkeen geometria kopioidaan uudelta pohjalta ja jatketaan ohjeen mukaan eteenpäin.

2 SKETSIN TUONTI

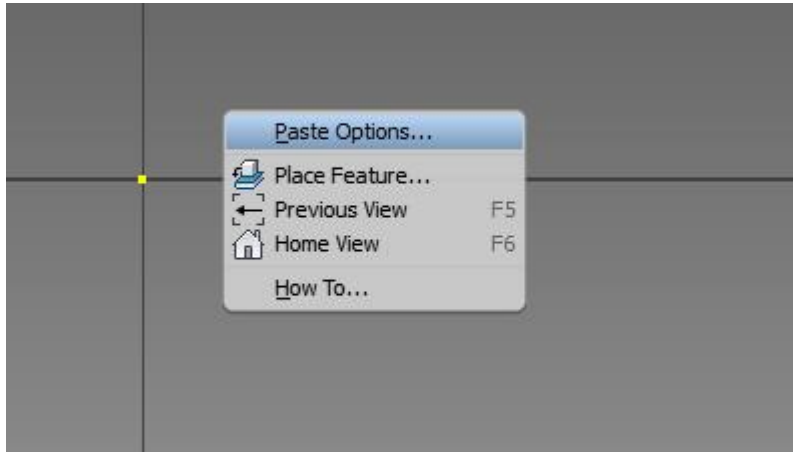
Ensimmäiseksi Inventorin auettua valitaan uudeksi osaksi sheet metal (kuva 5).



Kuva 5. Uuden sheet metal osan avaaminen.

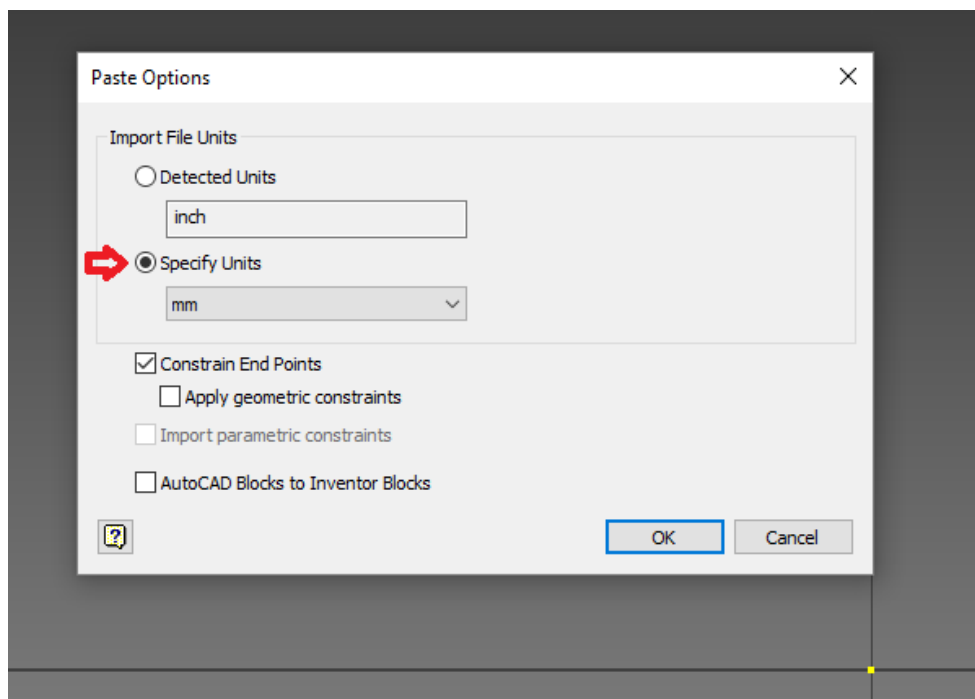
Kun create painiketta on klikattu, aukeaa Inventorin työikkuna, johon aloitetaan työskentely liittämällä geometria.

DWG-tiedostosta kopioitu geometria liitetään Inventorin sketsissä määritetylle ta-solle. Kun geometria on liitetty ja valitaan sijainnille paikkaa, klikataan hiiren oi-kealla painik-keella ja valitaan paste options (kuva 6).



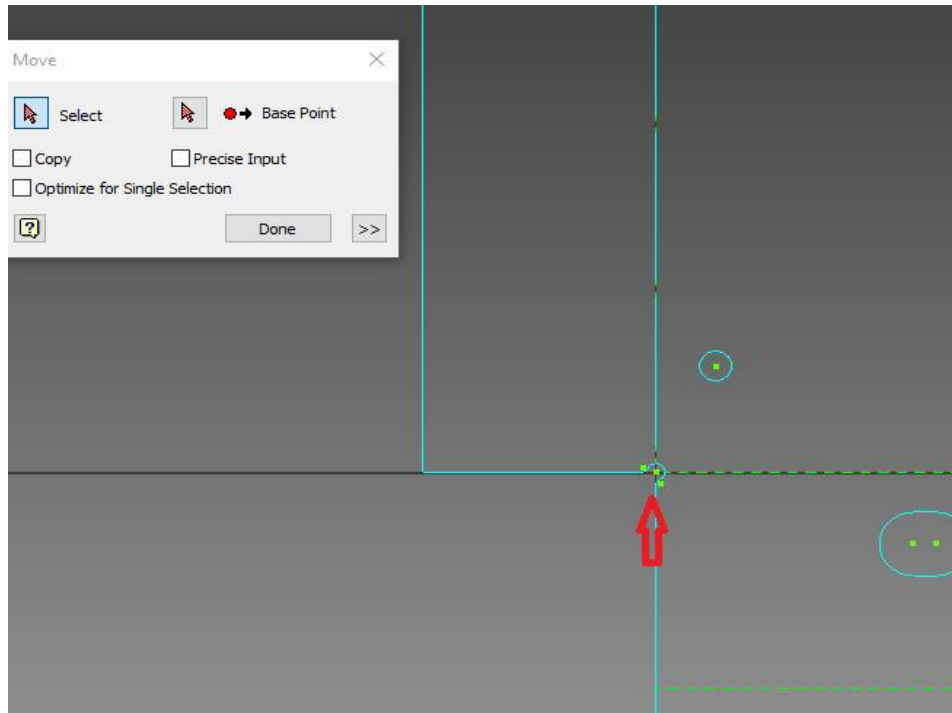
Kuva 6. Paste options

Paste options valikossa on automaattisesti valittuna detected units: inch ja se pitää muut-taa kohtaan specify units: mm, jotta geometrian mitat eivät vääristy (kuva 7).

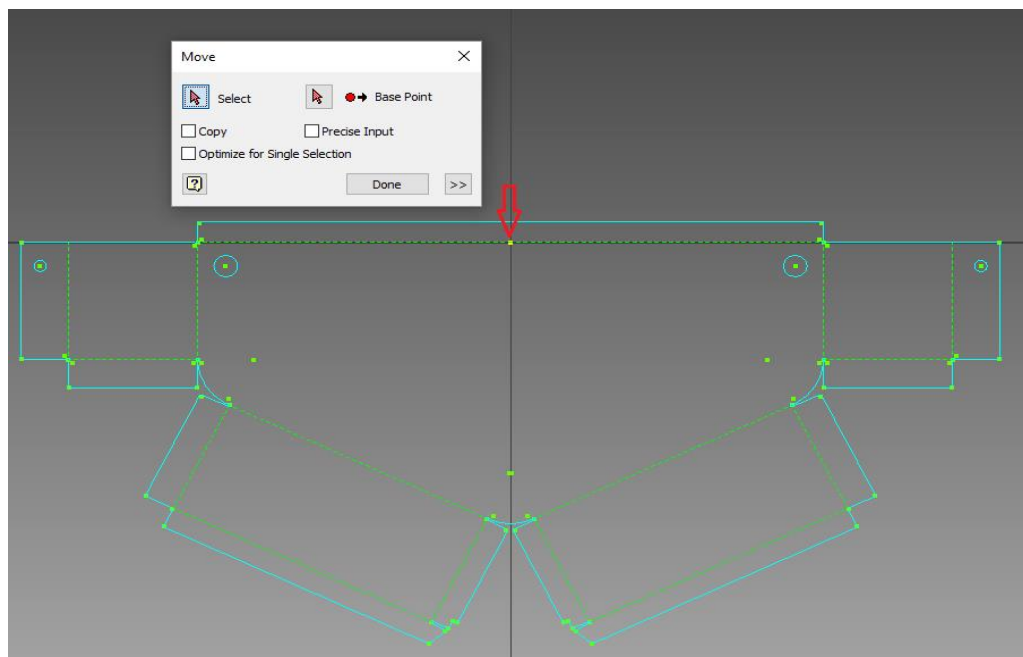


Kuva 7. Oikean mittayksikön valinta.

Kun geometria on tuotu sketsiin, kannattaa se sitoa origoon. Järkevintä on sijoittaa se siten, että se auttaa taivutusten tekemisessä (kuva 8) tai jos kappale on symmetrinen kannattaa origo olla kappaleen keskellä niin, että taivutuksia ja muita piirteitä voi helposti kopioida mirror-työkalulla (kuva 9).



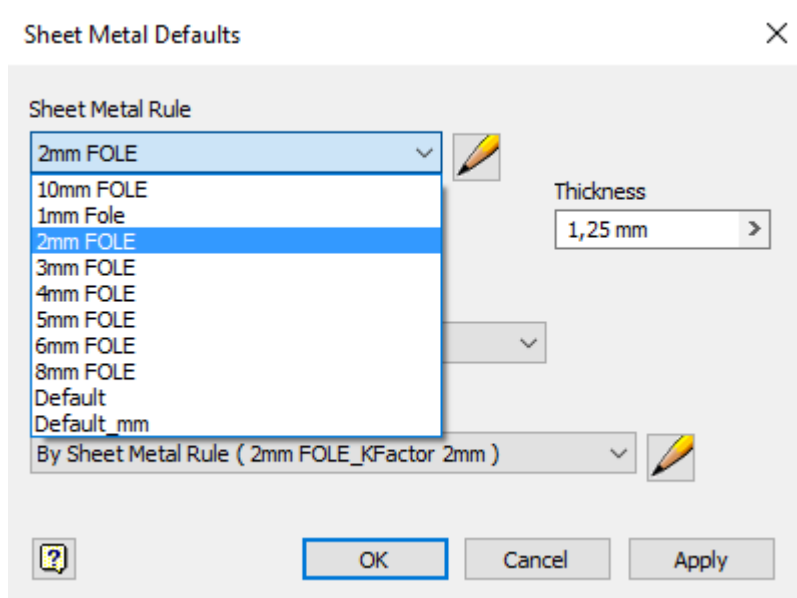
Kuva 8. Sketsin sijoittaminen



Kuva 9. Sketsin sijoittaminen.

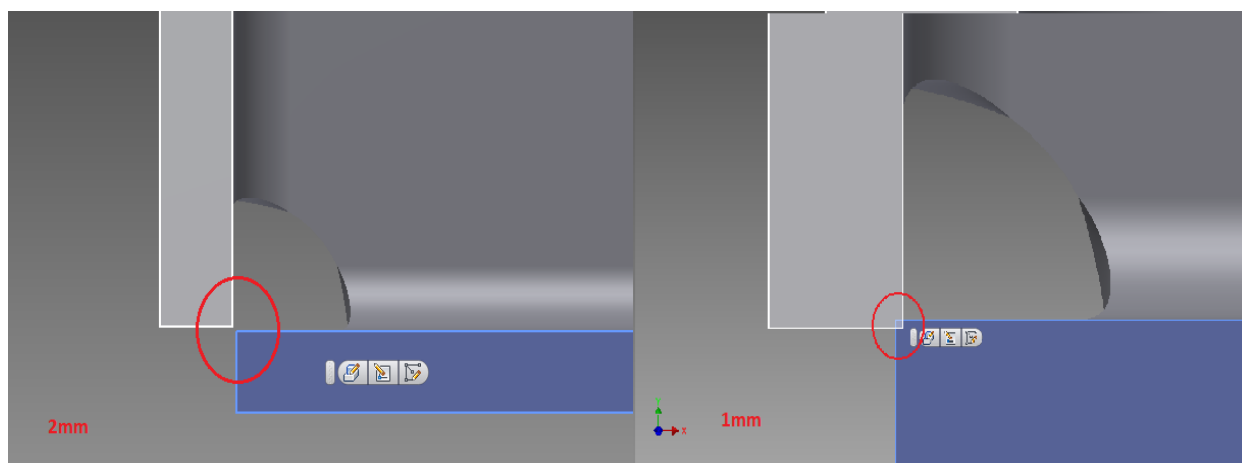
3 SHEET METAL ASETUKSET

Ennen pinnan luontia määritetään sheet metal asetukset. Kirjastossa on valittavina levynpaksuudet yhden millimetrin välein. Jos levynpaksuus on esimerkiksi 1,25mm täytyy valita 1mm tai 2mm ja sen jälkeen muuttaa paksuus oikeaksi (kuva 10).



Kuva 10. Levyn paksuuden määrittäminen.

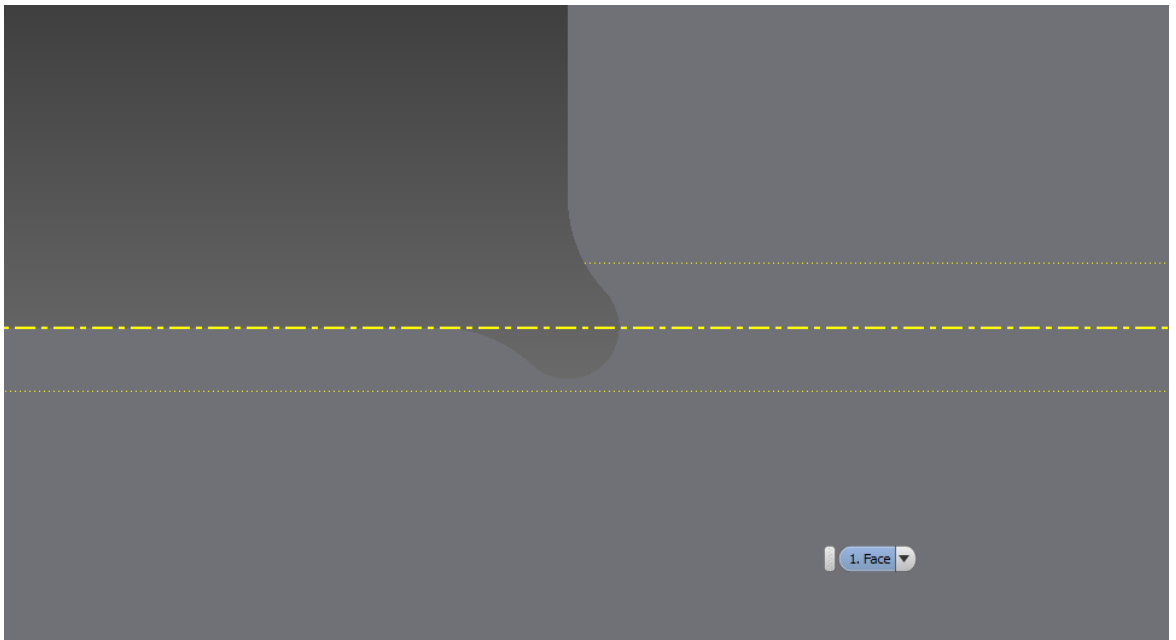
Taivutusasetukset jäävät kuitenkin voimaan valitun paksuuden mukaan ja tämä aiheuttaa ongelmia taivutuksia tehtäessä levynkulmien törmätessä toisiinsa. Törmäys on mittallisesti ja käytännössä olematon, mutta ohjelmassa siitä seuraa ongelmia. Ongelman välttämiseksi kannattaa aina valita paksumpi kuin ohuempi levynpaksuus (kuva 11).



Kuva 11. Ongelma paksuutta määrittäessä.

4 TAIVUTUKSET

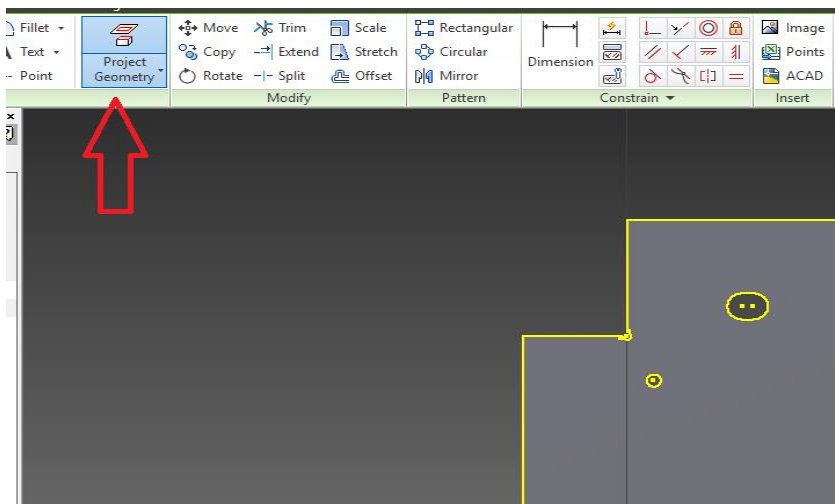
Jos taivutus ei kohdistu suoraan reunaan, tarvitaan lähes aina toimenpiteitä. Inventorilla taivutussäde on suurempi kuin AutoCAD:lla ja siksi kopioidussa geometriassa ei ole sitä huomioitu (kuva 12).



Kuva 12. Taivutushelpotuksen vajeus.

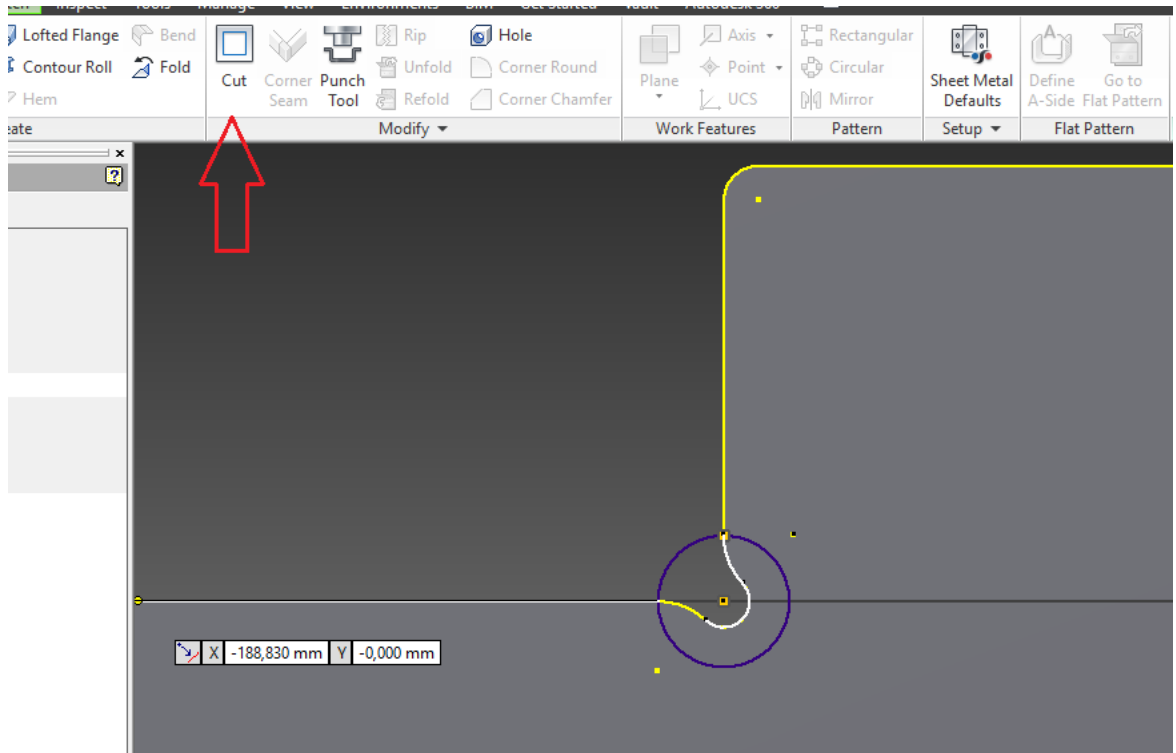
Useimmissa tapauksissa näkee ennen taivutusten tekoa, jos avustusreikiä täytyy suurentaa, mutta välillä asian huomaa vasta taivutuksia tehdessä.

Pintaan tehdessä sketsiä, kannattaa käyttää project geometry- komentoa, jotta tarvittavat rajat pinnoille löytyvät (kuva 13).



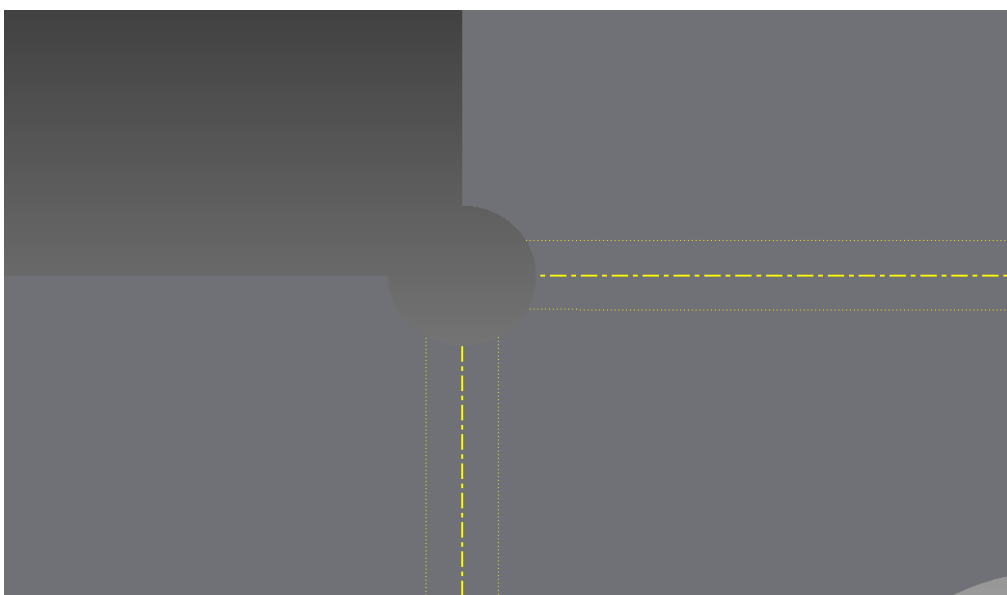
Kuva 13. Project geometry.

Jotta taivutus onnistuu halutusti, täytyy avustuksia suurentaa. Piirretään pintaan tarpeeksi suuri muoto ja cut- työkalulla leikataan osasta muodon verran pois (kuva 14). Kopioituun geometriaan ei voi tehdä muutoksia alussa ennen pinnan tekemistä, sillä se sotkee koko geometrian.



Kuva 14. Taivutushelpotuksen suurentaminen.

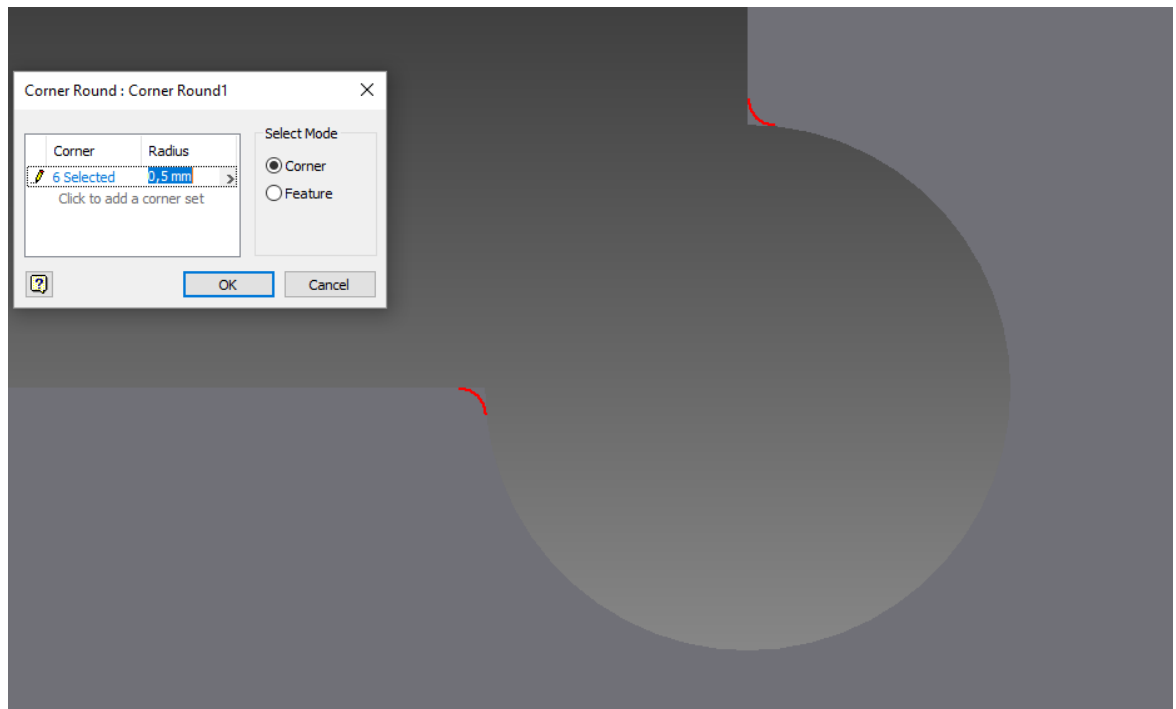
Suurentamisen jälkeen taivutukset onnistuvat ilman ongelmia (kuva 15).



Kuva 15. Taivutushelpotus

5 OSIEN VIIMEISTELY

Kun osa on valmis, kannattaa tehdä reunojen pyöristykset kohtiin, joissa avustusreikiä on täytynyt suurentaa (kuva 16). Pyöristyksiä ei kannata tehdä heti reikien teon jälkeen jos reikien kokoa täytyy muuttaa, koska siitä seuraa ylimääräistä työtä.

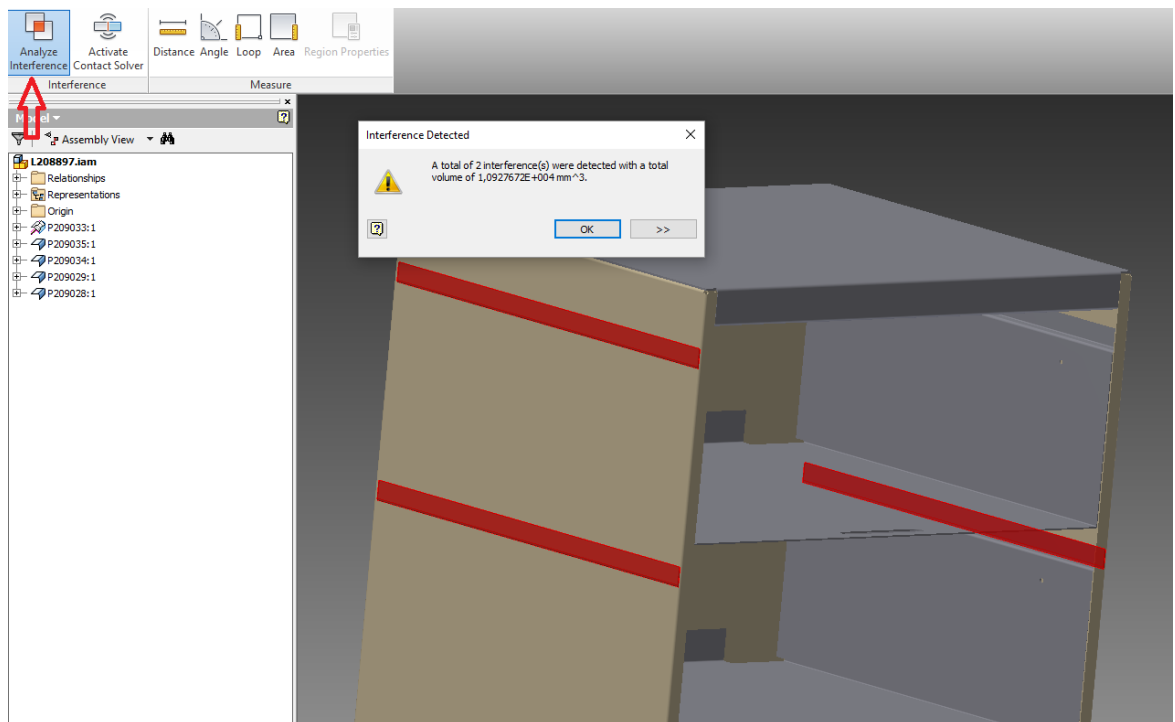


Kuva 16. Reunojen pyöristäminen.

Jos kappaleessa on kierrereikiä tai muita samantyyppisiä piirteitä, ne kannattaa muistaa myös lisätä lopulliseen kappaleeseen.

6 KOKOONPANOISSA HUOMIOITAVAA

Taivutuksista johtuen osat eivät aina sovi tismalleen toisiinsa. Mitä enemmän kappaleessa on taivutuksia, sitä enemmän mitat vääristyvät. Virheet ovat erittäin pieniä ja käytännössä ne eivät yleensä ole vaaraksi. Analyze interference- työkalulla pystytään tarkastelemaan törmäävätkö kappaleet toisiinsa (kuva 17). Jos kappaleet törmäävät rajusti toisiinsa, on syytä pohtia mitoitus uudelleen.



Kuva 17. Kappaleiden törmäystarkastelu.